

RAPPORT

MONITORING “BROERSBANK”

Project	Vlaamse Baaie – Monitoring “Broersbank”
Dossiernr	214339
Title	Monitoring Broersbank – Resultaten Modellerings (periode Jun 2015 – Aug 2015)
Document nr.	214339_R10_20160831
Auteur	Hana Ortega – KU Leuven
Goedgekeurd	Jaak Monbaliu – KU Leuven
Date	31/08/2016 (draft) 31/08/2016 (finale versie)

INHOUD

LIJST FIGUREN	3
LIJST TABELLEN	3
1. INLEIDING.....	4
1.1. OPZET VAN DE STUDIE	4
1.2. TE SIMULEREN PERIODE	6
2. STRUCTUUR VAN DE MODELLEN EN WEERHOUDEN SETTINGS.....	7
3. GOLFPARAMETERS, STATISTISCHE PARAMETERS EN KWALITEITSINDICATOREN	8
3.1. DEFINITIE GEBRUIKTE GOLFPARAMETERS	8
3.2. STATISTISCHE PARAMETERS VOOR DE VERGELIJKING VAN MODELRESULTATEN EN METINGEN.....	8
3.3. KWALITEITSINDICATOREN VOOR DE OPVOLGING VAN DE MODELRESULTATEN	9
3.3.1. <i>QI-indicator</i>	9
3.3.2. <i>S-Score</i>	10
4. RESULTATEN EN INDICATOREN	10
4.1. RESULTATEN	10
4.2. INDICATOR VOOR PERFORMANTIE GOLFMODELLERING	15
4.3. S-SCORE RESULTATEN EN TOEPASSING BIJ DE ANALYSE VAN STORMCONDITIES.....	16
5. DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN.....	18
5.1. DISCUSSIE.....	18
5.2. AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK.....	19
6. REFERENTIELIJST	20
ANNEX 1. SPECTRAL SCORE INDICATOR (S-SCORE)	22
<i>S-score implementatie</i>	22
ANNEX 2. GESELECTEERDE STORM CONDITIES (PERIODE JUNI-AUGUSTUS 2015)	23
ANNEX 3. TIJDREEKSEN VAN DE VOLLEDIGE MAAND MODEL BELANGRIJKSTE GOLFPARAMETERS.....	24
ANNEX 4. S-SCORE EN STORM ANALYSE.....	40
<i>Storm 25-26 juli 2015</i>	40
ANNEX 5. TIJDSLIJN STATISTISCHE PARAMETERS.....	54
ANNEX 6. GEMETEN WIND EN MODELWIND	60
REFERENCE TO THIS REPORT:	63

Lijst Figuren

Figuur 1. Locatie van de vijf boeien (rode cirkels).	5
Figuur 2. Significante golfhoogte Hm0 voor juli 2015 met model settings CM50, CW50 en CM52 voor de 7 boeilocaties (zie ook op vorige pagina)	13
Figuur 3. Hm0 voor storm 25-26 juli 2015 met model settings CM50, CW50 en CM52 voor de 7 boeilocaties.	14
Figuur 4. Modelresultaat Hm0, Tm02, piekgolfrichting en S-score voor storm 25-26 juli 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boei op locatie BRB5DB. De onderste figuur toont de golfhoogte Hm0 voor de verschillende boeien samen met de waterstanden in Nieuwpoort (gemeten en gemodelleerd).	17

Lijst Tabellen

Tabel 1. Benaming, locatie en diepte en van de boeien. Modellerings diepte.	6
Tabel 2. Maand van onderhoud voor de verschillende boeien (periode december 2013- september 2015). Naam van de boei (A94 staat voor aKUST94) en opgemeten waterdiepte op de boeipositie (aangeduid met de boeilocatienaam, zie Figuur 1).	6
Tabel 3. Overzicht van de geselecteerde settings voor simulatie volledige meetperiode.	7
Tabel 4. Start- en einddatum voor de geselecteerde storm periode juni 2015- augustus 2015.	7
Tabel 5. Statistische parameterwaarden per maand voor model settings CM50, CW50 en CM52 op locatie BRB1GB. Simulatie voor de volledige maand, periode juni-augustus 2015.	11
Tabel 6. Hm0 indicator per 3 maanden van december 2013 tot en met augustus 2015.	15
Tabel 7. Tm02 indicator per 3 maanden van december 2013 tot en met augustus 2015.	15
Tabel 8. Hm0 scatter index per maand van juni tot en met augustus 2015 op locatie BRB1GB en TRGGB1.	15
Tabel 9. Tm02 scatter index per maand van juni tot en met augustus 2015 op locatie BRB1GB en TRGGB1.	15
Tabel 10. Hm0 scatter index per storm van juni tot en met augustus 2015 op locatie BRB1GB en TRGGB1.	15
Tabel 11. Tm02 scatter index per storm van juni tot en met augustus 2015 op locatie BRB1GB en TRGGB1.	15

1. INLEIDING

1.1. Opzet van de studie

Het ophogen van zandbanken is één van de belangrijke deelprojecten van het vlaggenschipproject Vlaamse Baaien en één van de belangrijke hoofdstukken van het Masterplan 2050. Op dit ogenblik is er echter een leemte in de kennis waardoor het niet mogelijk is te besluiten of het ophogen van zandbanken al dan niet een efficiënte maatregel is om de kustveiligheid te verhogen. Het is daarom noodzakelijk dat men bepaalt in welke mate ondiepe (al dan niet artificieel verhoogde) zandbanken voor de kust een dempend effect (kunnen) hebben op (super) stormgolven die de kust bereiken. Deze (super)stormgolven belasten de zeewering en hun grootte speelt dus een belangrijke rol bij de bepaling van de veiligheid van de Vlaamse kust.

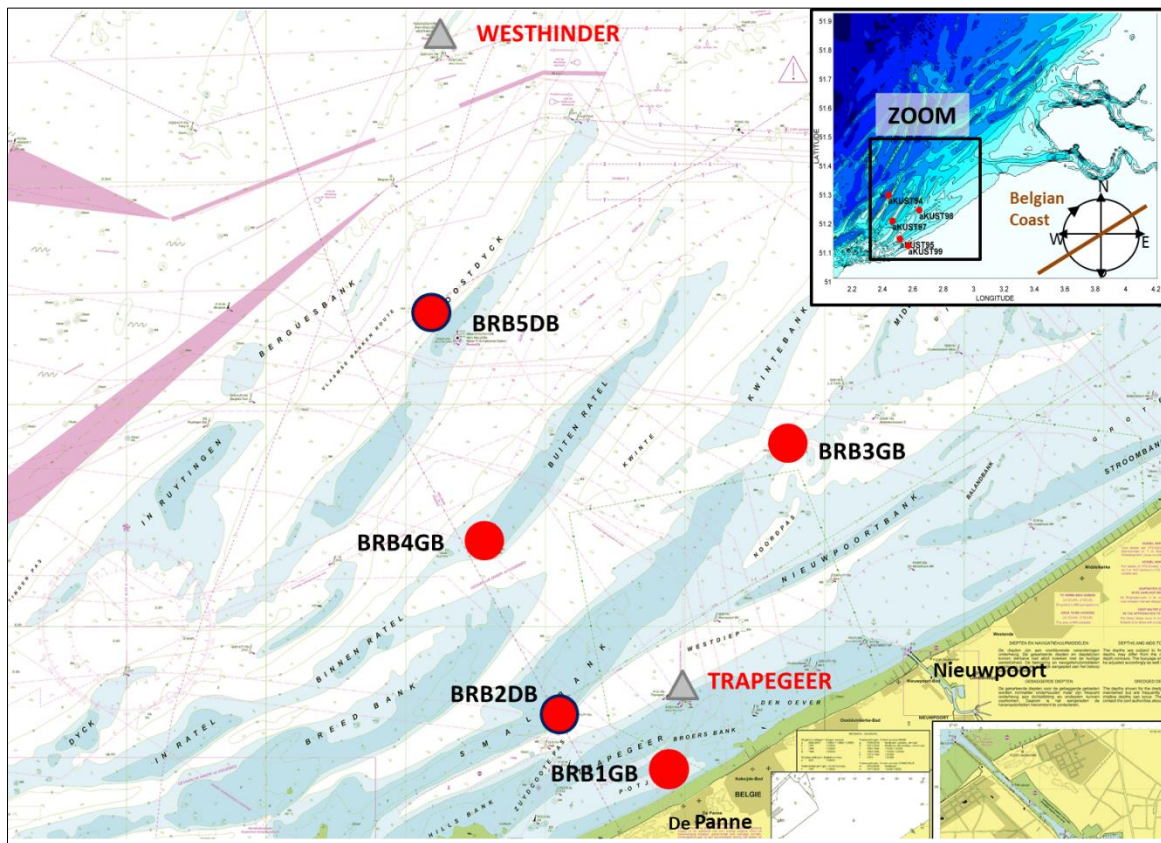
De doelstelling van het project 214339 “Vlaamse baaien – Monitoring Broersbank” is om de voortplanting, dissipatie en aangroei van golfenergie dat zich van offshore naar onze kust toe beweegt, te bestuderen enerzijds via metingen, anderzijds via numerieke modellering met behulp van spectrale golfmodellen. Dit project is een vervolgproject op project 212176 “Vlaamse baaien – Monitoring Broersbank”. De studie wordt uitgevoerd om het effect op de golfvoortplanting over ondiepe banken beter te begrijpen, waarbij bestaande golfmodellen kunnen getest worden en nieuwe, meer gedetailleerde golfmodellen kunnen ontwikkeld worden. De resultaten van dergelijke studies zijn dan ook zeer bruikbaar voor de optimalisatie van ontwerpen van maatregelen voor kustverdediging.

Wat betreft metingen zijn er eind november 2013 vijf golfboeien (2 directionele en 3 niet-directionele) uitgelegd. De boeien zijn zo gepositioneerd dat ze een goed beeld kunnen geven van het verloop van de voortplanting en de dissipatie van de energie over de verschillende zandbanken. Er werden reeds een aantal rapporten gemaakt met betrekking tot de performantie van de metingen en het data-acquisitie systeem (zie satelliet en ruwe datarapporten van het voorgaande project 212176 (R01-R05, R07, R09 en R10) en in dit project 214339 (R01-R03 en R5-R09) in de REFERENTIELIJST.–Dit rapport bevat de resultaten van de modellering voor de periode Juni-augustus 2015 (zie cf. rapport 212176-R06-20150515 waar de periode December 2013-Februari 2015 werd besproken).

Het basisidee blijft om met behulp van modellen de golfenergie in het volledige Belgische kustgebied te simuleren met bijzondere aandacht voor de zone van de Westkust waar de boeien zijn uitgelegd. Indien het modelleerwerk en de metingen perfect zouden zijn, dan zouden de metingen en de resultaten van het model perfect moeten overeenkomen. Dit is natuurlijk niet het geval. We nemen aan dat de metingen ‘beter’ zijn dan het model en we proberen het model zo aan te passen dat de modelresultaten zo goed mogelijk de metingen benaderen door te sleutelen aan verschillende deelcomponenten van het model. Componenten van een model zijn zowel de input die nodig is, zoals wind, bathymetrie, randvoorwaarden (golfcondities op de rand van het model), enz..., als de wiskundige formuleringen voor de fysische processen die plaatsvinden, zoals dieptegeïnduceerde breking en

bodemwrijving. Noteer dat in de wiskundige formulering van een fysisch proces vaak ook nog parameters gekalibreerd worden (bijvoorbeeld de wrijvingsparameter zal afhangen van de bodemkarakteristieken).

De eerste stap in de modellering was het opzetten van een genest rekenmodel ("Nested Coupled System", verder in dit rapport wordt de afkorting NCS gebruikt). Dit werd in detail beschreven in de Rapport 212176-R06-20150515 (REFERENTIELIJST). Met deze opzet kunnen randvoorwaarden gecreëerd worden om een gedetailleerd model voor de Belgische kust aan te drijven. De 5 boeien die in het kader van dit project werden uitgelegd en twee boeien uit het meetnet Vlaamse banken (Westhinder en Trapegeer), leveren de data aan die nodig zijn om te vergelijken met de resultaten bekomen uit de modellen (zie Figuur 1 en Tabel 1). In Tabel 1 zijn naast de dieptes die opgemeten zijn bij het onderhoud van de boeien, ook de dieptes weergegeven die in het model op die locaties worden gebruikt. Die komen niet perfect overeen. Het is op dit moment niet duidelijk wat het effect daarvan is op de berekende golfparameters gezien gemeten en berekende golfhoogtes niet eenduidig gerelateerd zijn aan de lokale waterdiepte.



Figuur 1. Locatie van de vijf boeien (rode cirkels).

LOCATIE	Breedtegraad	Lengtegraad	Diepte (m LAT)	Modellering Diepte (m LAT)	Diepte Verschil (m)
WHI	51.3888	2.4483	25.9	21.9	4.0
BRB5DB	51.2847	2.4394	21.8	22.7	-0.9
BRB3GB	51.2323	2.6413	8.0	10.7	-2.7
BRB4GB	51.1950	2.4656	4.5	4.1	0.4
BRB2DB	51.1330	2.5145	14.4	10.8	3.6
BRB1GB	51.1100	2.5700	7.1	6.0	1.1
TRGGB1	51.1375	2.5830	3.4	4.0	-0.6

Tabel 1. Benaming, locatie en diepte en van de boeien. Modellering diepte.

1.2. Te simuleren periode

Dit rapport geeft een samenvatting van de simulaties voor de periode juni-augustus 2015 van de meetcampagne met bijzondere aandacht voor de evenementen met hoge energie (stormen) uit noordelijke richting. Voor die periode beschikken we over alle metingen afkomstig van de geheugenkaarten uit de golfboeien (zie Tabel 2; deze data waren pas beschikbaar in April 2016. Deze data werden immers uitgelezen in de periode februari-april 2016 bij het vierde en laatste onderhoud van de boeien. Uit de berekeningen worden per maand of per storm een aantal statistische parameters (sectie 3) afgeleid die tot op zekere hoogte een oordeel geven over hoe goed de modellen in staat zijn de gemeten situaties ook te modelleren.

		2013	2014												2015												2016					
		N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	
BRB5DB	boei	A94					A95						A95 *	A94									A93									x
	diepte (m LAT)	24,5					21,0						21,8	21,8									21,8									
BRB3GB	boei	A98					A96						A96										A96						x			
	diepte (m LAT)	8,0					8,0						8,1										8,1									
BRB4GB	boei	A97					A98						A99										A98					A97		x		
	diepte (m LAT)	4,5					4,5						4,5										4,5					3,6				
BRB2DB	boei	A95					A93						A93				A95								A94						x	
	diepte (m LAT)	14,4					14,4						14,4				\								14,4							
BRB1GB	boei	A99					A97						A98				A97								A99						x	
	diepte (m LAT)	7,2					7,2						7,1				\								7,1							

* Boei op drift en daaropvolgend vervangen in de maand oktober; X : ophalen.

* Boei op drift en daaropvolgend vervangen in de maand oktober; X : ophalen.

Tabel 2. Maand van onderhoud voor de verschillende boeien (periode december 2013- september 2015). Naam van de boei (A94 staat voor aKUST94) en opgemeten waterdiepte op de boeioppositie (aangeduid met de boeilocatienaam, zie Figuur 1).

2. STRUCTUUR VAN DE MODELLEN EN WEERHOUDEN SETTINGS

Voor gedetailleerde informatie met betrekking tot de structuur van het model wordt verwezen naar Sectie 2 van voorgaand rapport 212176-R06-20150515 (zie REFERENTIELIJST). In dit rapport wordt ook het eerdere onderzoek ter bepaling van de modelsettings uiteengezet. Uiteindelijk werden volgende inputs en settings weerhouden voor verdere modellering:

1. Windvelden: ERA-Interim* correction factor (1.06).
2. Waterstanden en stromingen (U,V): afkomstig van het gekoppeld COHERENS model (NCS)
3. Bathymetrische data: 'WL 14_KZ'
4. Golfmodellering: kuststrookmodel
5. Tijdstap golfmodel: 10 minutes
6. Golfrandvoorwaarden:
 - Berekende golfspectra (WAM-model) opgelegd op de rand van het kuststrookmodel: → **CW50**
 - Gemeten golfspectra op locatie WHI opgelegd op west-, noord-, en ooststrand van het kuststrookmodel: → **CM50**
7. Bodemwrijving:
 - Standaard bodemwrijving (=CM50)
 - Halvering van de bodemwrijvingscoëfficiënt → **CM52**

Samengevat worden dus volgende settings weerhouden voor de simulatie van de volledige meetperiode:

Run Code	Main settings
CM50	Bathymetry WL met overlay bathymetrische lading juni 2013 (WL14_KZ) Default bodemwrijving Jonswap = 0.067
CW50	Bathymetry WL met overlay bathymetrische lading juni 2013 (WL14_KZ) Default bodemwrijving Jonswap = 0.067
CM52	CM50 maar met wrijvingsconstante bodemwrijving Jonswap = 0.0335

Tabel 3. Overzicht van de geselecteerde settings voor simulatie volledige meetperiode.

De modelsimulaties samengevat in dit rapport zijn gedaan voor de periode juni 2015 tot en met augustus 2015, en de statistische parameters zijn samengevat per maand voor de berekening van de volledige maand.

Er werd slechts één stormconditie in meer detail bekeken (in een zomerperiode zijn er meestal minder stormen). De storm is geselecteerd op basis van relatief hoge significante golfhoogtes en komende uit richtingen noordwest en noord, zie sectie 4.3.4 van rapport 212176-R06-20150515. In ANNEX 2. GESELECTEERDE STORM CONDITIES (periode juni-augustus 2015) kunnen de gedetailleerde criteria teruggevonden worden om tot de stormen te komen in onderstaande Tabel 4:

Storm ID	Startdatum	Einddatum	Maand
14	25 juli 2015 00:00	26 juli 2015 08:00	juli 2015

Tabel 4. Start- en einddatum voor de geselecteerde storm periode juni 2015- augustus 2015.

3. GOLFPARAMETERS, STATISTISCHE PARAMETERS EN KWALITEITSINDICATOREN

3.1. Definitie gebruikte golfparameters

De golfparameters gebruikt in deze studie worden afgeleid uit het spectrum. Om onderstaande definities te begrijpen wordt eerst het begrip moment m_x van een energiespectrum gedefinieerd.

$$m_x = \int f^x E(f) df \quad ; [m]$$

$E(f)$ is daarbij de energie-inhoud van het spectrum (in m^2s) bij een bepaalde frequentie f .

Met deze definitie kunnen dan gemakkelijk andere parameters gedefinieerd worden.

$Hm0$: significante golfhoogte (H_s) gebaseerd op het nulmoment (m_0) van het energiespectrum.

$$Hm0 = 4\sqrt{m_0} \quad ; [m]$$

T_m is een gemiddelde periode gebaseerd op m_{-1} . Het is een vrij robuuste parameter voor de golfperiode omdat lagere frequenties zwaarder doorwegen.

$$T_m = \frac{m_{-1}}{m_0} \quad ; [s]$$

T_{m1} is een gemiddelde periode gebaseerd op m_1 .

$$T_{m1} = \frac{m_0}{m_1} \quad ; [s]$$

T_{m2} is een gemiddelde periode gebaseerd op m_2 . Deze periode wordt veel gebruikt omdat deze periode vrij goed overeenkomt met de zogenaamde 'zero upcrossing period', een periode die verkregen wordt bij tijdsanalyse van golfboeismignalen.

$$T_{m2} = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad ; [s]$$

3.2. Statistische parameters voor de vergelijking van modelresultaten en metingen

De volgende veel gebruikte statistische parameters werden weerhouden om modelresultaten en meetgegevens te vergelijken.

$$RMSE = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad ; \text{Root mean square error.}$$

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - x_i) \quad ; \text{Bias.}$$

$$SI = \frac{RMSE}{|\bar{x}|} \quad ; \text{ Scatter index.}$$

$$CO = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{x_i - \bar{x}}{S_x} \right) \left(\frac{y_i - \bar{y}}{S_y} \right) \quad ; \text{ Correlatiecoëfficiënt.}$$

; S_x en S_y zijn de standaardafwijkingen.

Hierbij wordt met 'x' verwezen naar de boeidata en met 'y' naar de resultaten uit het model. Voor de BIAS parameter betekent dit dat een negatieve waarde wijst op een onderschatting en een positieve waarde tot een overschatting door het model t.o.v. de metingen.

Deze statistische parameters helpen ons om enerzijds het model te kalibreren (keuze model settings), anderzijds het model te valideren (opvolgen van de modelresultaten voor periodes niet betrokken in de validatie).

3.3. Kwaliteitsindicatoren voor de opvolging van de modelresultaten

3.3.1. QI-indicator

Een set van 'eenvoudige' indicators vastleggen om de kwaliteit van de resultaten van modellen te beoordelen is altijd een moeilijke evenwichtsoefening. Dergelijke set moet klein zijn om overzichtelijk te blijven enerzijds, maar moet toch nog voldoende omvattend zijn om een oordeel te kunnen vellen anderzijds. In overleg met de opdrachtgever werd in de vorige studie (project 212176 "Vlaamse baaien – Monitoring Broersbank") vastgelegd om met de onderstaande kwaliteitsindicatoren te werken:

- 3-maand gemiddelde SI van de Hsig op de locaties BRB1GB en TRGGB1.
- 3 maand gemiddelde SI van de periode Tm02 van de locaties BRB1GB en TRGGB1.

$$QI_{3maanden} = \frac{SI_{all\ cond_BRB1GB} + SI_{all\ cond_TRGGB1}}{2} \quad ; \text{ gemiddelde SI volledige maand.}$$

$$QI_{stormen} = \frac{(SI_{storm\ cond_BRB1GB} + SI_{storm\ cond_TRGGB1})}{2} \quad ; \text{ gemiddelde SI voor storm condities.}$$

3.3.2. S-Score

Tot op heden werden de modelvoorspellingen dus beoordeeld aan de hand van indicators die de overeenkomst tussen de gemeten en gemodelleerde golfparameters, bv. H_{m0} en T_{m02} , weergeven. Alhoewel de overeenkomst tussen de geobserveerde en voorspelde golfparameters goed kan zijn, wijken de gemeten en voorspelde golfspectra in sommige gevallen significant af. In deze omstandigheden zijn eenvoudige golfparameters alleen niet voldoende om de reeks golfcondities die kunnen voorkomen op een bepaalde plaats, te beschrijven (Dabbi *et al.*, 2015). Daarom werd een parameter ontwikkeld om de vorm van het gegenereerde frequentiespectrum te beoordelen; de Spectral Score Indicator of S-score. Deze parameter heeft als doel te meten hoe goed de vorm van het golfspectrum gereproduceerd wordt door de modellering. Zowel het gemodelleerde spectrum als het geobserveerde spectrum worden genormaliseerd, zodat de oppervlakte onder beide spectra 1 wordt. Daarnaast wordt hun frequentie-inhoud in n frequentiebanden onderverdeeld. Deze onderverdeling is identiek voor beide spectra. De S-score wordt dan gedefinieerd als:

$$S_{score} = \sum_1^n \min(S_{normalized, MODEL}, S_{normalized, OBSERVATION}) \Delta f_n$$

Δf_n is de breedte van het frequentie-interval voor de n -de frequentie in het energiespectrum.

De waarde van de S-score ligt tussen 0 en 1. Bij een perfecte overeenkomst krijgt men een waarde 1. De berekening van deze indicator wordt in detail besproken in ANNEX 1. SPECTRAL SCORE INDICATOR (S-score) en R04_20160718 in REFERENTIELIJST.

4. RESULTATEN EN INDICATOREN

4.1. Resultaten

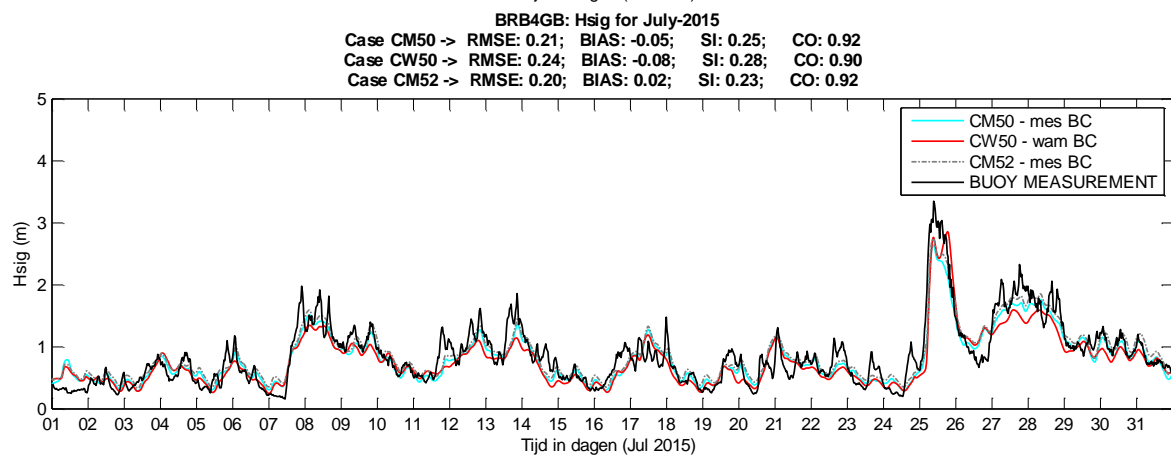
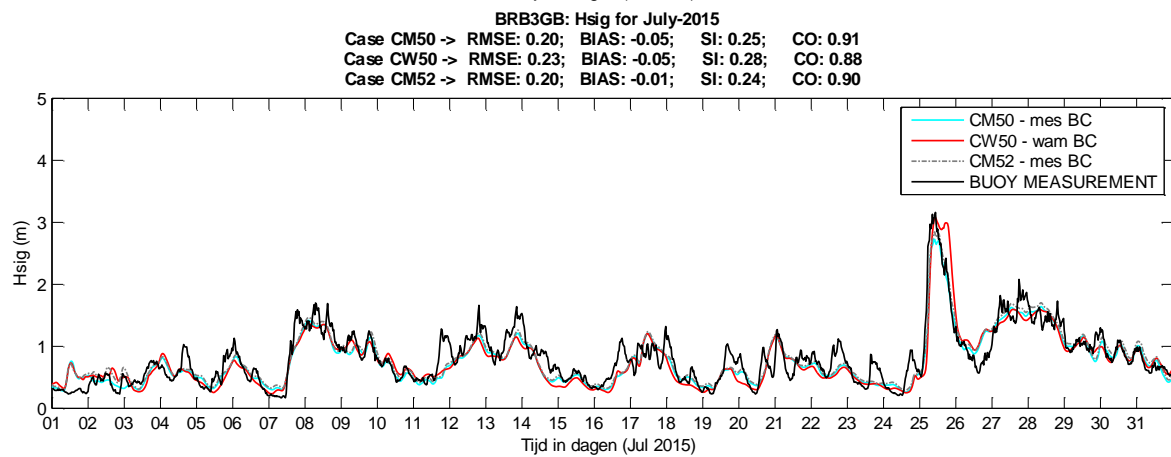
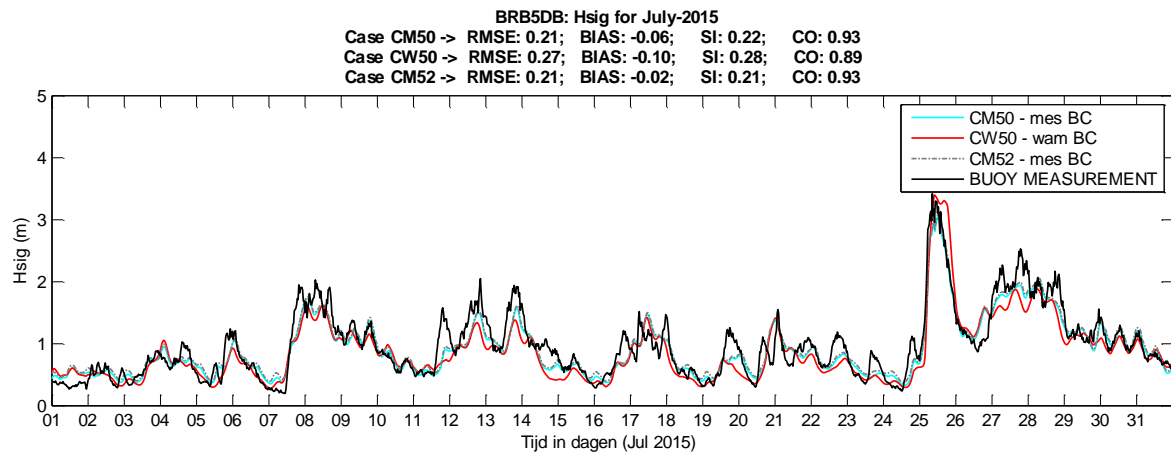
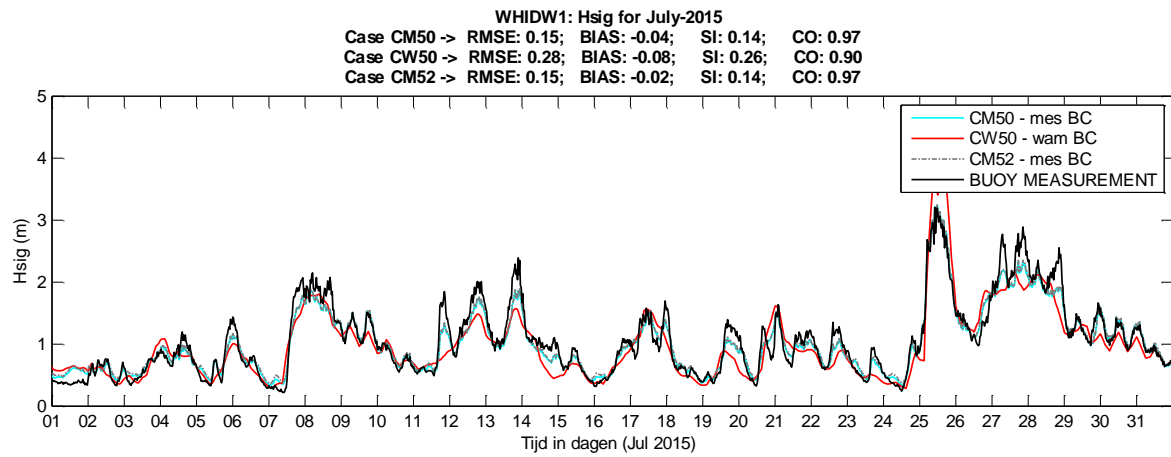
Zoals hierboven vermeld, werd de periode van juni 2015 tot en met augustus 2015 (3 maanden) gemodelleerd voor 'alle condities' en voor 'storm condities'.

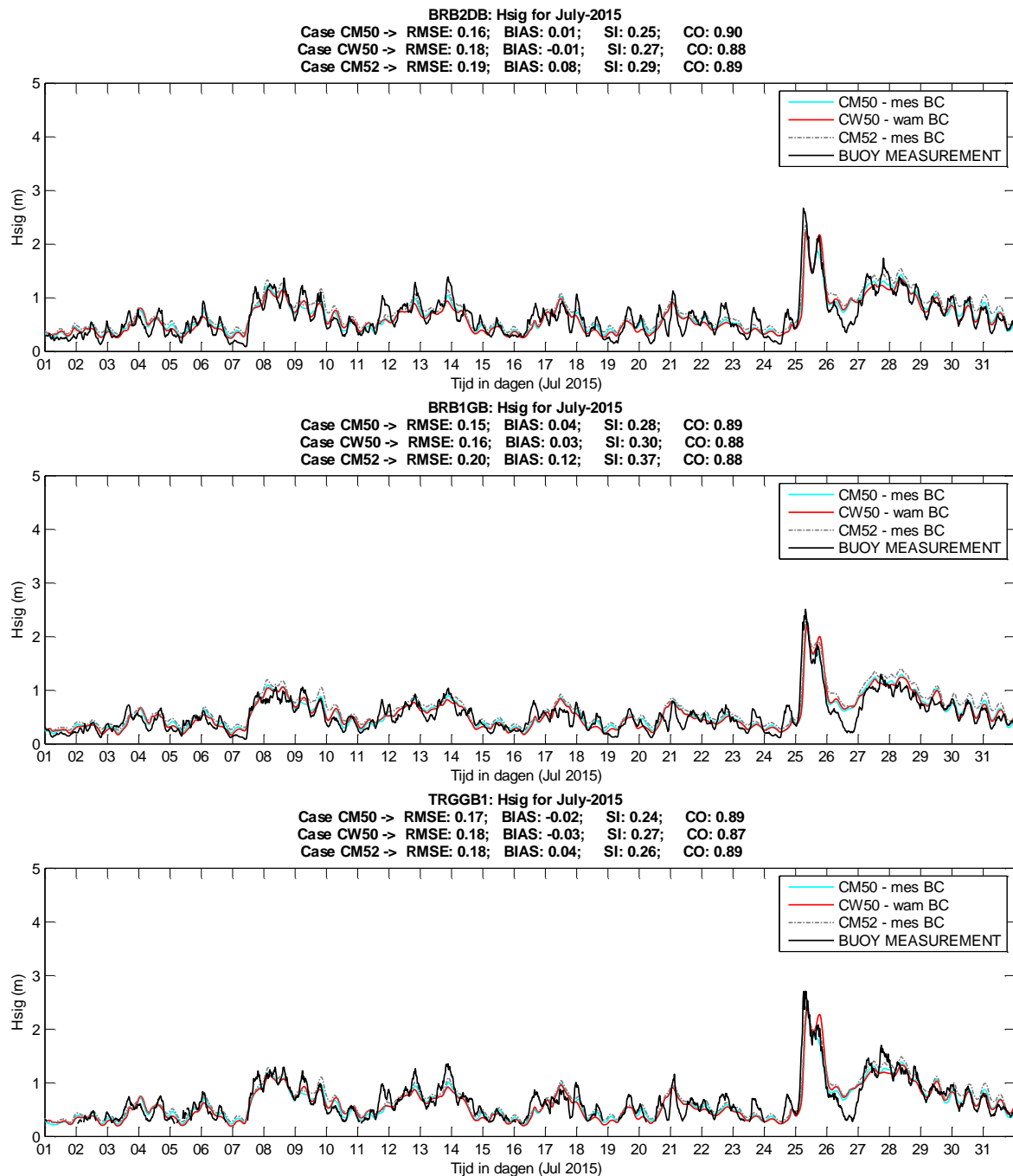
De verkregen golfhoogte H_{m0} , periode T_{m02} en piekgolfrichting (alleen voor de directionele boeien) worden systematisch geplot voor 'alle condities' en 'storm condities' voor de 7 boeilocaties (WHI, Trapegeer en de 5 boeien die speciaal voor deze campagne zijn uitgelegd). Zie voorbeeldplots voor H_{m0} voor de volledige maand juli 2015 in Figuur 2 en voor de geselecteerde storm in die maand in Figuur 3. In elke figuur worden de 4 statistische parameters (RMSE, BIAS, SI en CO) getoond. Alle andere tijdreeksen voor 'alle condities' zijn terug te vinden in ANNEX 3. TIJDREEKSEN VAN DE VOLLEDIGE MAAND MODEL BELANGRIJKSTE GOLFPARAMETERS.

Om toch op een iets meer overzichtelijke manier al deze statistische parameters te kunnen overzien (3 settings voor het model x 2 parameters Hm0 en Tm02 x 4 statistische parameters RMSE, BIAS, SI en CO x 7 locaties x aantal gesimuleerde maanden en het aantal geselecteerde stormen), worden de statistische parameters weergegeven zoals in Tabel 4 . Alle andere tabellen en figuren voor de periode juni 2015 tot en met augustus 2015 zijn terug te vinden in ANNEX 5. TIJDSLIJN STATISTISCHE PARAMETERS.

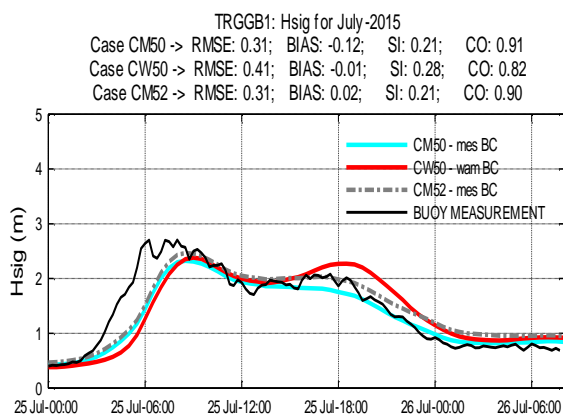
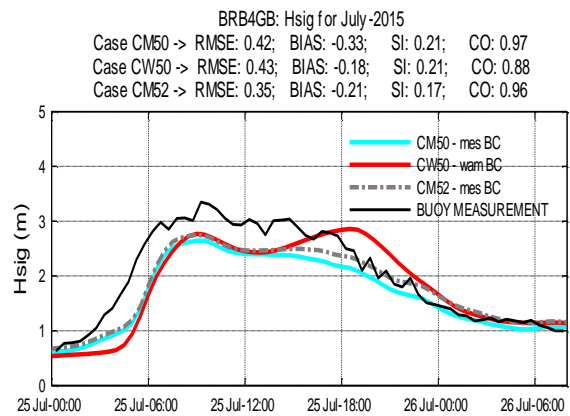
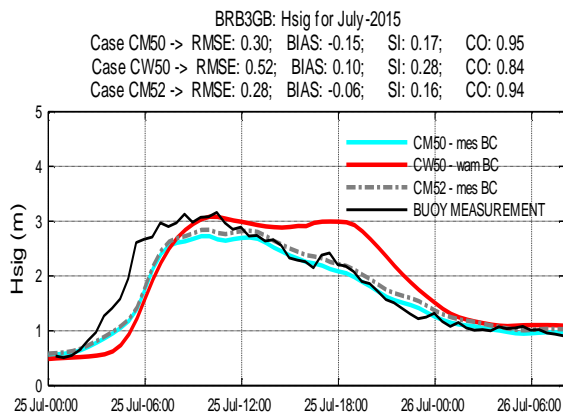
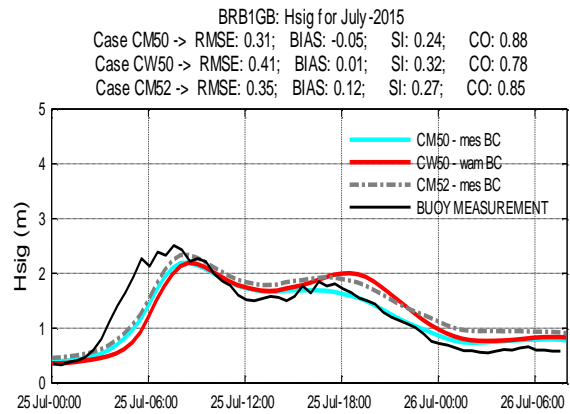
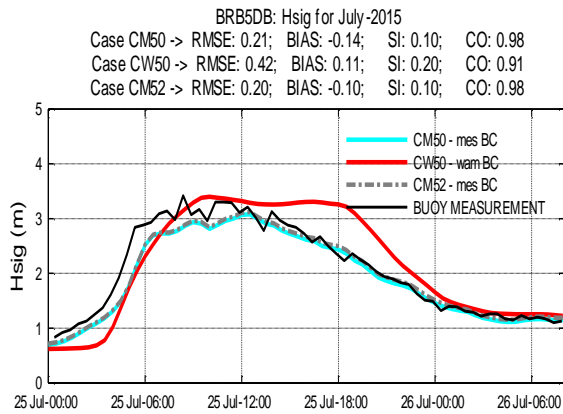
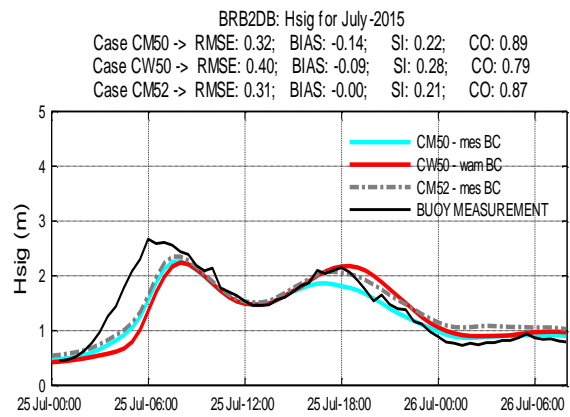
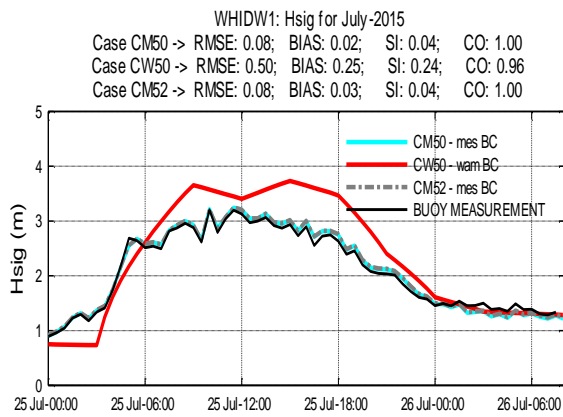
Hm0	BRB1GB	Juni 2015	Juli 2015	Aug 2015
RMSE	CM50	0.15	0.15	0.15
	CW50	0.15	0.16	0.15
	CM52	0.17	0.20	0.19
BIAS	CM50	0.00	0.04	0.06
	CW50	0.01	0.03	0.05
	CM52	0.07	0.12	0.11
SI	CM50	0.28	0.28	0.41
	CW50	0.29	0.30	0.41
	CM52	0.32	0.37	0.51
CO	CM50	0.86	0.89	0.77
	CW50	0.85	0.88	0.78
	CM52	0.85	0.88	0.76

Tabel 5. Statistische parameterwaarden per maand voor model settings CM50, CW50 en CM52 op locatie BRB1GB. Simulatie voor de volledige maand, periode juni-augustus 2015.





Figuur 2. Significante golfhoogte H_{m0} voor juli 2015 met model settings CM50, CW50 en CM52 voor de 7 boeilocaties (zie ook op vorige pagina)



Figuur 3. Hm0 voor storm 25-26 juli 2015 met model settings CM50, CW50 en CM52 voor de 7 boeilocaties.

4.2. Indicator voor performantie golfmodellering

Als indicator voor de performantie van het model werd gekozen voor een driemaandelijke gemiddelde Scatter Index voor elk van de drie weerhouden model settings. en dit voor zowel H_{m0} als T_{m02} . Uit de waarden voor de aldus verkregen indicator, wordt de kleinste waarde weerhouden (dus het resultaat van de modelsetting met het beste resultaat) en deze waarde wordt aangeduid met 'QI_3maand' wanneer ze berekend wordt aan de hand van de waarden voor de volledige maand, en met 'QI_storm' indien ze berekend wordt uit de waarden die afkomstig zijn uit stormcondities (zie Tabel 6 voor H_{m0} indicator en Tabel 7 voor T_{m02}). De formules voor deze parameters zijn terug te vinden in sectie 3.3. Om de behaalde resultaten overzichtelijk te houden worden deze indicatoren enkel berekend voor de locaties die het dichtst bij de kust liggen met name boeilocatie Trapegeer (TRGGB1) en boeilocatie 1 (BRB1GB),. Een goede modellering voor deze locaties is belangrijk om de impact van de golfenergie op de kustlijn te kennen. Deze indicatoren zijn gebaseerd op maandelijkse of stormwaarden voor de Scatter Indices voor de boeien op locatie TRGGB1 en BRB1GB (terug te vinden in Tabel 8-Tabel 11 voor bijvoorbeeld de gesimuleerde significante golfhoogtes, H_{m0} , en gemiddelde periode, T_{m02}).

Hm0	Dec 2013-Feb 2014	Mar-Mei 2014	Jun-Aug 2014	Sep-Nov 2014	Dec2014-Feb2015	Mar-Mei 2015	Jun-Aug 2015
QI_3maand	0.48	0.29	0.26	0.40	0.29	0.28	0.30
QI_stormen	0.23	0.16	0.16	0.21	0.26	0.16	0.23

Tabel 6. H_{m0} indicator per 3 maanden van december 2013 tot en met augustus 2015.

Tm02	Dec 2013-Feb 2014	Mar-Mei 2014	Jun-Aug 2014	Sep-Nov 2014	Dec2014-Feb2015	Mar-Mei 2015	Jun-Aug 2015
QI_3maand	0.13	0.12	0.12	0.13	0.10	0.11	0.12
QI_stormen	0.10	0.10	0.11	0.09	0.12	0.10	0.09

Tabel 7. T_{m02} indicator per 3 maanden van december 2013 tot en met augustus 2015.

Hm0	BRB1GB	Jun2015	Jul2015	Aug2015
5	CM50	0.28	0.28	0.41
	CW50	0.29	0.30	0.41
	CM52	0.32	0.37	0.51

Hm0	TRGGB1	Jun2015	Jul2015	Aug2015
5	CM50	0.26	0.24	0.32
	CW50	0.27	0.27	0.32
	CM52	0.26	0.26	0.36

Tabel 8. H_{m0} scatter index per maand van juni tot en met augustus 2015 op locatie BRB1GB en TRGGB1.

Tm02	BRB1GB	Jun2015	Jul2015	Aug2015
5	CM50	0.12	0.16	0.13
	CW50	0.14	0.15	0.15
	CM52	0.17	0.21	0.20

Tm02	TRGGB1	Jun2015	Jul2015	Aug2015
5	CM50	0.09	0.12	0.10
	CW50	0.11	0.12	0.11
	CM52	0.10	0.13	0.12

Tabel 9. T_{m02} scatter index per maand van juni tot en met augustus 2015 op locatie BRB1GB en TRGGB1.

Hm0	BRB1GB	Jun2015	Jul2015	Aug2015
5	CM50	/	0.24	/
	CW50	/	0.32	/
	CM52	/	0.27	/

Hm0	TRGGB1	Jun2015	Jul2015	Aug2015
5	CM50	/	0.21	/
	CW50	/	0.28	/
	CM52	/	0.21	/

Tabel 10. H_{m0} scatter index per storm van juni tot en met augustus 2015 op locatie BRB1GB en TRGGB1.

Tm02	BRB1GB	Jun2015	Jul2015	Aug2015
5	CM50	/	0.08	/
	CW50	/	0.13	/
	CM52	/	0.11	/

Tm02	TRGGB1	Jun2015	Jul2015	Aug2015
5	CM50	/	0.10	/
	CW50	/	0.15	/
	CM52	/	0.11	/

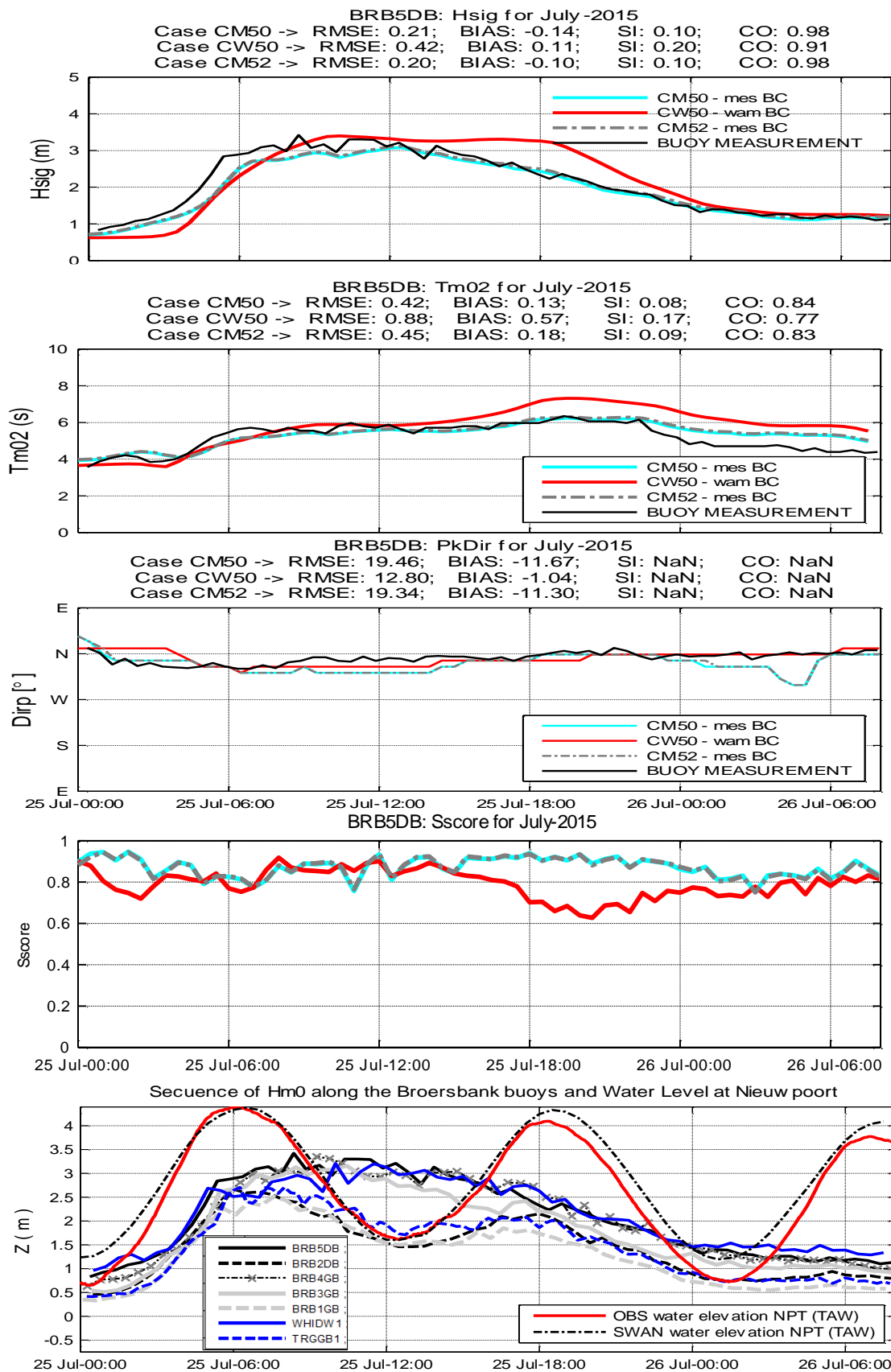
Tabel 11. T_{m02} scatter index per storm van juni tot en met augustus 2015 op locatie BRB1GB en TRGGB1.

4.3. S-score resultaten en toepassing bij de analyse van stormcondities

De S-score (zie sectie 0) werd berekend voor de storm tijdens de beschouwde periode. Het is in het bijzonder interessant om deze resultaten in parallel te bekijken met $Hm0$, $Tm02$ en Dirp. Als voorbeeld wordt dit voor boei BRB5DB getoond in Figuur 4. Voor de andere locaties is deze vergelijking terug te vinden in ANNEX 4. S-SCORE EN STORM ANALYSE.

S-score is een eenvoudige en accurate methode om de overeenkomst van het model wat betreft de vorm van het frequentiespectrum weer te geven. Daarom wordt voorgesteld om deze nieuwe indicator, complementair met andere statistieken, te gebruiken om de performantie van het golfmodel bij het reproduceren van de golfobservaties met gegeven input, te beoordelen. Deze indicator is bijzonder handig om de spectra die alvast qua vorm niet accuraat gereproduceerd worden, te identificeren. Aangezien dit een grote beperking is bij de modellering, zal deze parameter ons helpen om een betere selectie te maken van de te beschouwen gevallen voor verder onderzoek.

Alhoewel het moeilijk tot niet mogelijk is om de kwaliteit van de huidige resultaten eenduidig te vergelijken met modelsimulaties voor de aanvang van deze studie, werden in de rapporten van het BOREAS project (Mathys et al., 2011) statistische parameters gevonden van gelijkaardige berekeningen. Toch durven we te stellen dat er een merkbare verbetering is, in het bijzonder voor de berekende gemiddelde periodes ($Tm02$). De waarde van de bias zijn verschoven van een grootte orde 1s naar een grootte orde 0.25 s op locatie Westhinder. Ook root mean square error (RMSE) en scatter index (SI) zijn kleiner geworden. Voor de locaties dicht bij de kust (Bol van Heist in de Boreas studie en Trapegeer in deze studie) zien we ook een verbetering in de bias, rms error en scatter index voor de berekende gemiddelde periode $Tm02$. De verbeteringen voor de statistische parameters met betrekking tot de significante golfhoogte zijn iets minder spectaculair maar toch nog aanzienlijk. Bias blijft ongeveer hetzelfde (dicht bij nul), RMSE en SI verminderen met ongeveer 1/3. We mogen dus besluiten dat de implementatie van deze set van modellen nauwkeuriger resultaten geeft in vergelijking met die van uit de vroegere BOREAS studie.



Figuur 4. Modelresultaat Hm0, Tm02, piekgolfrichting en S-score voor storm 25-26 juli 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boei op locatie BRB5DB. De onderste figuur toont de golfhoogte Hm0 voor de verschillende boeien samen met de waterstanden in Nieuwpoort (gemeten en gemodelleerd).

5. Discussie en aanbevelingen

5.1. Discussie

Onderstaande discussie is gebaseerd op de resultaten van de modellering beschreven in dit rapport (de periode juni-augustus 2015 met daarin 1 geselecteerde storm). De modelleringsopzet blijft hetzelfde als in voorgaande modelleringsrapporten (zie sectie 2 en rapport 212176-R06-20150515 en 214339-R04-20160718). Alhoewel de kwaliteitsindicatoren voor de 3 modelleringsgevallen een gelijkaardig gedrag vertonen als voor de modellering van de voorgaande maanden (zie indicatoren in Tabel 6 en Tabel 7), kunnen toch enkele specifieke observaties gedaan worden met betrekking tot de modellering voor de periode juni-augustus:

- De 3 verschillende model settings leveren gelijkaardige resultaten. Voor deze periode van 3 maanden werden de spectra op Westhinder dus vrij goed gesimuleerd door de Coherens-WAM model. (Figuur 5.8 in ANNEX 5. TIJDSLIIJN STATISTISCHE PARAMETERS). Alhoewel er relatief weinig verschil is in resultaten tussen de twee settings waarbij het gemeten spectrum op Westhinder wordt opgelegd (CM50 en CM52) en die waarbij de randvoorwaarde eveneens werd berekend (CW50), zie Tabel 8-Tabel 11, zijn de resultaten voor model setting CM52 (gemeten golfspectrum als randvoorwaarde maar met lagere bodemwrijvingswaarde) iets minder goed in vergelijking met de twee andere model settings, in het bijzonder voor de maand augustus. Deze maand was echter een vrij kalme periode (maximum significante golfhoogte H_{m0} op Westhinder was 2m).
- Op de locatie BRB4GB wordt de significante golfhoogte H_{m0} minder onderschat voor deze modelleringsperiode van 3 maanden in vergelijking met de vroegere periodes. Er is zelfs een lichte overschatting voor de (kalme) maand augustus (zie Figuur 5.11 in ANNEX 5. TIJDSLIIJN STATISTISCHE PARAMETERS). De onderschatting blijft echter nog altijd vrij aanzienlijk voor de uitgekozen stormperiode van 25-26 juli. Zoals reeds werd aangehaald in het vorige modelleringsrapport (214339-R04-20160718), heeft het feit dat de lokale diepte er geschat is op slechts 4,5m LAT een grote invloed op het bekomen resultaat. Relatief kleine verschillen in werkelijke bathymetrie en de bathymetrie die gebruikt is in het model kunnen tot vrij grote verschillen leiden in modelresultaat. Wellicht krijgen we daar ook veel sneller golfbreking.
- Zoals in de modellering voor de voorgaande maanden, worden de situaties met golven uit zuidwest tot west en uit het noordoosten minder goed gesimuleerd op locatie Westhinder. Dit is ook te zien in de figuren met tijdreeksen op die locatie (zie de tijdreeksfiguren voor de model settings CM50 and CM52 gemodelleerde golfhoogte H_{m0} en richting van de golfpiek op WHI voor 13 en 17 Juni, 12-14 en 18-24 juli, en 4-6 en 26-28 augustus in ANNEX 3. TIJDREEKSEN VAN DE VOLLEDIGE MAAND MODEL BELANGRIJKSTE GOLFPARAMETERS). Ook het gebruik van WAM randvoorwaarden levert niet direct betere resultaten op voor WHI (zie CW50 lijn op dezelfde plots). Deze mismatch aan de rand van het domein houdt meteen ook in dat de modelresultaten op de andere boeilocaties minder goed zijn. De verwachting is dan ook dat voor deze specifieke periode van 3 maanden (juni-augustus 2015) een mogelijke combinatie van gesimuleerde en

gemeten golfrandvoorwaarden (een suggestie voor verder onderzoek), geen verbetering in de uiteindelijke modelresultaten zal opleveren.

- In de maanden juni en juli volgt de gesimuleerde golfrichting (richting van de piek van het spectrum) vrij goed het patroon van de metingen (Figuur 3.3 en Figuur 3.6 in ANNEX 3. TIJDREEKSEN VAN DE VOLLEDIGE MAAND MODEL BELANGRIJKSTE GOLFPARAMETERS), maar voor de maand augustus zijn de resultaten aanzienlijk minder goed voor de boeilocaties BRB5DB en BRB2DB (Figuur 3.9 in ANNEX 3. TIJDREEKSEN VAN DE VOLLEDIGE MAAND MODEL BELANGRIJKSTE GOLFPARAMETERS). Dit is een gevolg van de continue veranderingen in golfrichting gedurende deze maand. Het is ook interessant om eens te kijken naar de golfrichting op locatie BRB2DB wanneer noordelijke condities voor een tijdje vrij stabiel blijven. Dit is het geval in juni 2015 voor de dagen 8-12, 15-16, 18-20 en 23-26 (Figuur 3.3). De meetgegevens van boei BRB2DB tonen een regelmatig patroon van een verandering in de golfrichting dat mogelijks wellicht al een gevolg van stromingsrefractie (tijgebonden). Ook de modelresultaten tonen een regelmatige richtingsverandering, maar slagen er niet in om deze korte verandering in richting goed correct weer te geven.

Als we kijken naar de stormperiode (komende uit noord-noordwestelijke richting) en ook de S-score meenemen als bijkomende evaluatieparameter, komen we tot volgende bevindingen:

- The spectra tijdens de piek van de storm (van 08:00 tot 17:00 op 25 juli) wordt vrij goed gereproduceerd in termen van energiedistributie over de verschillende frequenties en dit voor de 3 model settings. Een mooi voorbeeld is het 1Dspectrum van 11.30 en dit voor alle locaties (aangeduid met de groene verticale streep in Figuur 4.9; alsook Figuur 4.1-Figuur 4.8).
- Na deze 9 uur slaagt de simulatie met berekende golfrandvoorwaarden er minder goed in om de distributie van de golfenergie over het spectrum weer te geven. Dit is duidelijk te zien in de 1D plots van het golfspectrum van 25 juli-2015 om 18:30 (Figuur 4.10; alsook Figuur 4.1-Figuur 4.8 aangeduid met de rode verticale streep).
- Vanaf 26 juli zien we dat de S-score ook voor de simulaties waarbij de gemeten golfrandvoorwaarden worden opgelegd minder goed wordt. Een representatief moment voor deze situatie is bijvoorbeeld om 2:30 op 26 juli (Figuur 4.11; alsook Figuur 4.1-Figuur 4.8 aangeduid met een gele verticale streep). De reden voor de verslechtering van de S-score ligt in de verandering van windrichting. De wind krimpt van min of meer noorderlijke wind naar zuidelijke wind.

5.2. Aanbevelingen voor verder onderzoek

De simulatie voor deze relatief kalme periode leverde geen echt nieuwe bevindingen op. Het bevestigt wel eerdere bevindingen. Een eventueel minder goede overeenkomst tussen de gemeten en gemodelleerde spectra is relatief makkelijk te herkennen via de nieuwe S-score evaluatieparameter. Door enkel de significante golfhoogte en gemiddelde periode vergelijken, is het veel moeilijker om te weten waar de modellering kan bijgestuurd worden. Sommige andere parameters worden best geplot en geanalyseerd in parallel met de S-scores, in het bijzonder de

gemiddelde richting voor de golfspectra, de gemeten lokale wind en de ERA-Interim wind, die momenteel wordt gebruikt om de modellen aan te drijven. Na het vergelijken van de huidige S-scores (zowel de tijdsreeksen als de 1D spectra plots), wordt verwacht dat het kuststrookmodel aangedreven met de lokaal gemeten wind (hogere resolutie in tijd) de S-score en dus ook de andere modelleringsindicatoren kan verbeteren.

Door de implementatie van de S-score (onderzoeksaanbeveling 8 uit het vorige onderzoeksproject 212176) wordt ook hier aangetoond dat de implementatie van lokaal gemeten wind (onderzoeksaanbeveling 6; zie ANNEX 6. GEMETEN WIND EN MODELWIND) sterk aan te bevelen is. De andere aanbevelingen voor verder onderzoek uit het rapport 212176-R06-20150515 worden hieronder niet herhaald, maar blijven uiteraard wel geldig.

6. REFERENTIELIJST

- Dabbi, E. P., Haigh, I. D., Lambkin, D., Hernon, J., Williams, J. J., and Nicholls, R. J. (2015). "Beyond significant wave height: A new approach for validating spectral wave models." *Coastal Engineering*, 100, 11-25.
- Mathys P., De Rouck J., Fernandez L., Monbaliu J., Van den Eynde D., Delgado R., Dujardin A.. Brussels, 2011. Belgian Ocean Energy Assessment (BOREAS). Final Report.: Belgian Science Policy – 157 p. (Research Programme Science for a Sustainable Development).
- Rapport 212176-R01- 20140716: *"Monitoring Broersbank boeidata – datarapport periode december 2013 – maart 2014"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Oktober 2014.
- Rapport 212176-R02-20140625: *"Monitoring Broersbank boeidata – Ruwe datarapport periode december 2013- maart 2014"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Oktober 2014.
- Rapport 212176-R03- 20141021: *"Monitoring Broersbank boeidata – datarapport periode April-Augustus 2014"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Oktober 2014.
- Rapport 212176-R04-SAT_BRB_20141218: *"Monitoring Broersbank boeidata – datarapport periode Sept-Nov 2014"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, December 2014.
- Rapport 212176-R05-20141216: *"Monitoring Broersbank boeidata – Ruwe datarapport periode April 2014-Augustus 2014"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, December 2014.
- Rapport 212176-R06-20150228 *"Monitoring Broersbank - Resultaten Modelling December 2013 - August 2014"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Februari 2015.
- Rapport 212176-R06-20150515 *"Monitoring Broersbank - Resultaten Modelling December 2013 - Februari 2015"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Mei 2015.
- Rapport 212176-R07-SAT_BRB_20150331: *"Monitoring Broersbank boeidata – datarapport periode Dec 2014-Feb 2015"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Maart 2015.
- Rapport 212176-R08-20150515_update20150228- *"Monitoring Broersbank- Samenvattend verslag (December 2013-februari 2015)"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Mei 2015.
- Rapport 214339-R01-SAT_BRB_20150707- *"Monitoring Broersbank boeidata – datarapport periode Maart-Mei 2015"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Juli 2015.

Rapport 214339_R02_20151013- *“Monitoring Broersbank boeidata – Satelliet datarapport periode Jun2015-Aug2015”*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Oktober 2015.

Rapport 214339_R03_201512109- *“Monitoring Broersbank boeidata – Ruwe datarapport periode Mar2015-Mei2015”*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, December 2015.

Rapport 214339_R04_20160718- *“Monitoring Broersbank boeidata – Resultaten Modelleren (periode Mar 2015 – Mei 2015)”*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Juli 2016.

Rapport 214339_R05_20160209- *“Monitoring Broersbank boeidata – Satelliet datarapport periode Sep2015-Nov2015”*. . Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Februari 2016.

Rapport 214339_R06_20160606- *“Monitoring Broersbank boeidata – Satelliet datarapport periode Dec2015-Apr2016”*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Juni 2016.

Rapport 214339_R07_20160530- *“Monitoring Broersbank boeidata – Ruwe datarapport periode Jun2015-Aug2015”*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Mei 2016.

Rapport 214339_R08_20160530- *“Monitoring Broersbank boeidata – Ruwe datarapport periode Sep2015-Dec2015”*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Mei 2016.

Rapport 214339_R09_20160705- *“Monitoring Broersbank boeidata – Ruwe datarapport periode Jan2015-Apr2016”*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Juli 2016.

ANNEX 1. SPECTRAL SCORE INDICATOR (S-score)

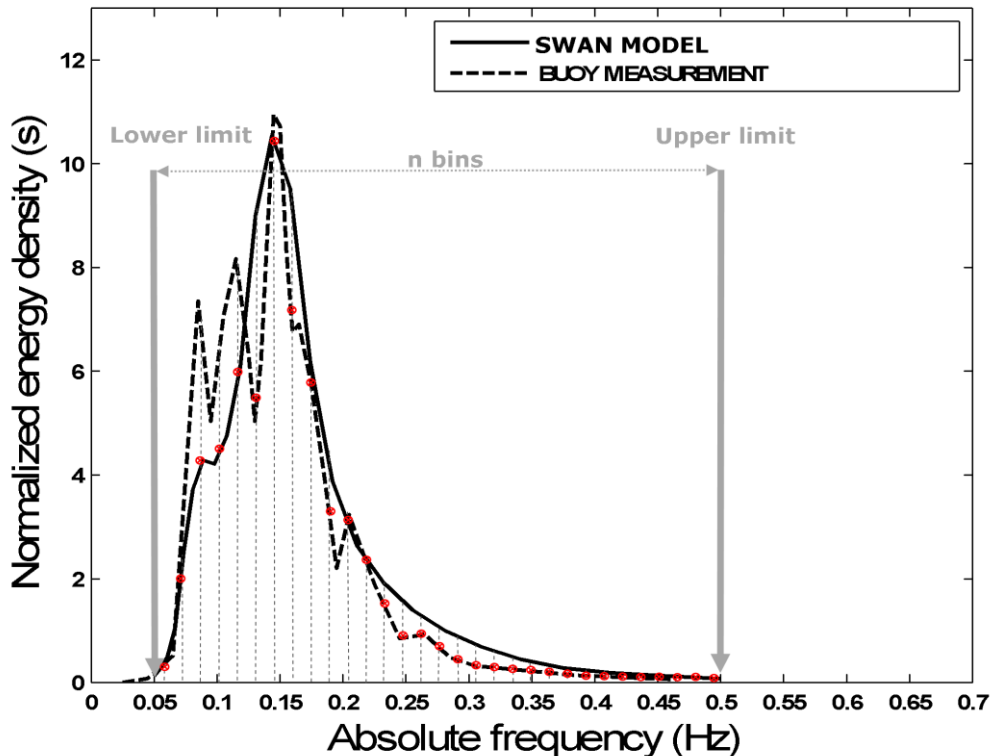
S-score implementatie.

De indicator ‘Spectrale Score (S-score)’ is een nieuwe kwaliteitsindicator ontwikkeld met het oog op een beter begrip van het gedrag van het model bij het reproduceren van de golfspectra. Het is erop gericht te meten hoe goed het model de reële energieverdeling simuleert en is hoofdzakelijk een vergelijking van de twee (gemodelleerde en gemeten) 1D golfspectra. De S-score wordt als volgt berekend.

- Definieer een standaard frequentievector om de vergelijking te maken. In dit geval werden de 1D frequentiespectra verkregen uit SWAN in het gebied 0.050-0.5Hz, verdeeld in 25 intervallen, als standaard gekozen.
- Interpoleer het geobserveerde spectrum in diezelfde ‘n’ frequentie-intervallen. Merk op dat door deze interpolatie de energie niet perfect gerepliceerd wordt en er zo energie verloren gaat. Dit is beperkt en zal dus ook maar beperkt invloed hebben op het resultaat. Desalniettemin kan er in deze stap nog een aanpassing gedaan worden met het oog op energiebehoud.
- Normaliseer zowel het model als het gemeten spectrum (oppervlakte onder het genormaliseerde spectrum is gelijk aan 1). Plot beide genormaliseerde spectra.
- Bereken het gebied onder de laagste energie van beide spectra voor elk frequentie-interval. Dit geeft de S-score voor elke tijdstap.

$$S_{score} = \sum_{n=1}^n \min(S_{MODEL}^{normalized}, S_{OBSERVATION}^{normalized}) \Delta f_n$$

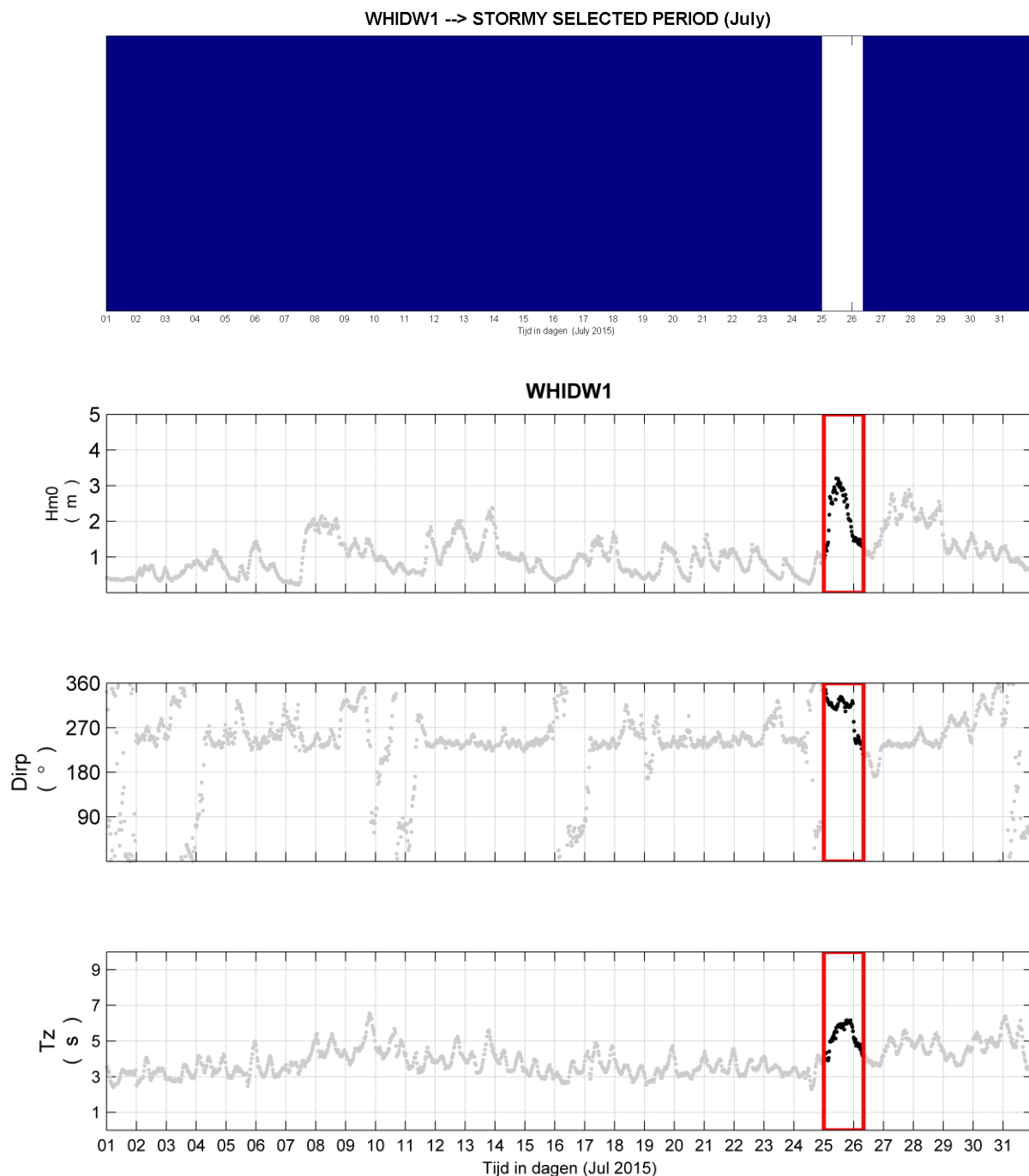
Δf_n is de breedte van het frequentie-interval voor de n-de frequentie in het energiespectrum.



Figuur 1.1. Voorbeeld ter illustratie van de methodologie om de S-score te berekenen.

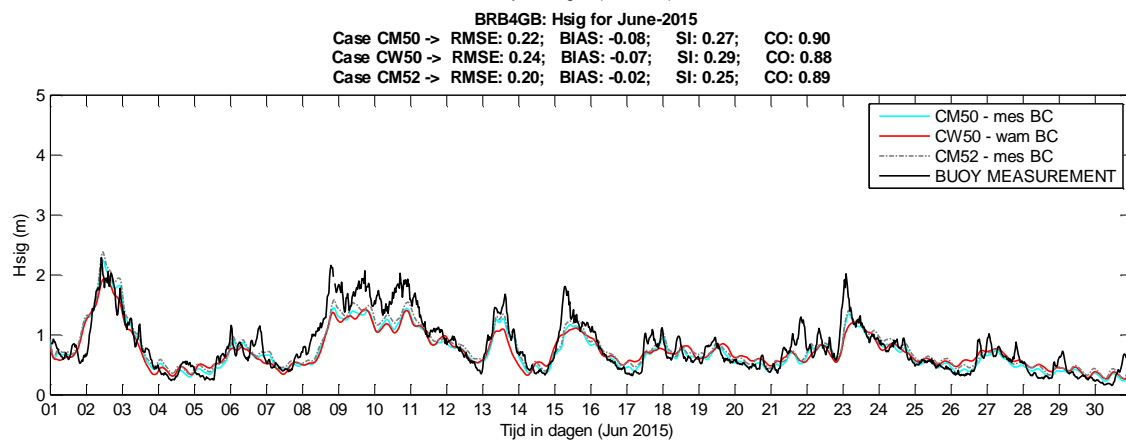
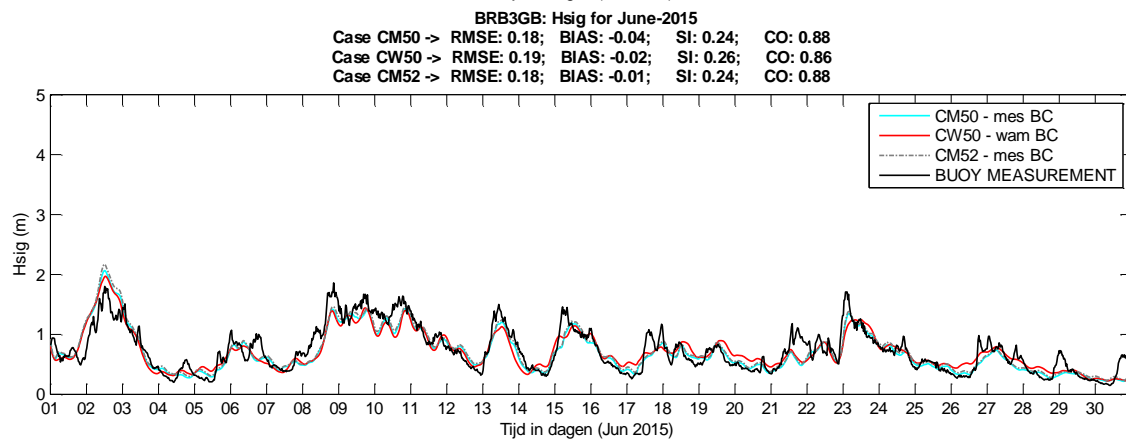
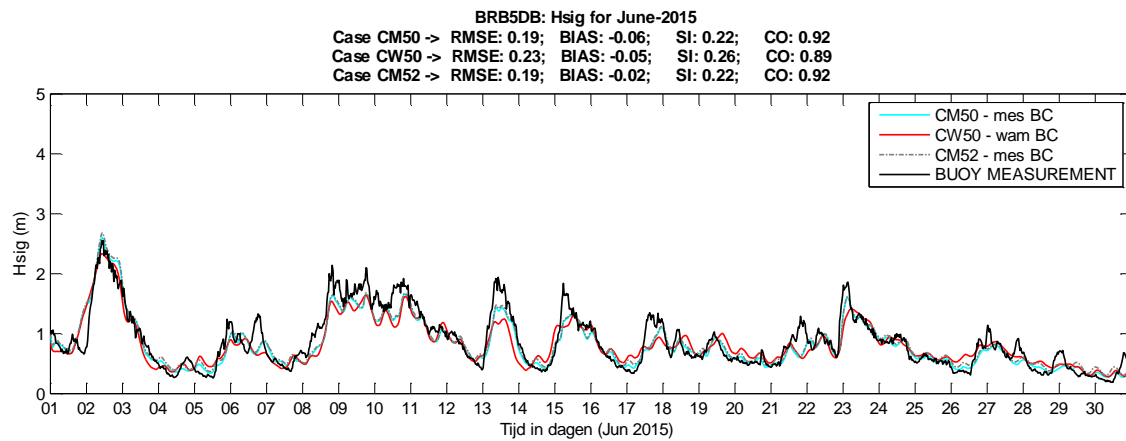
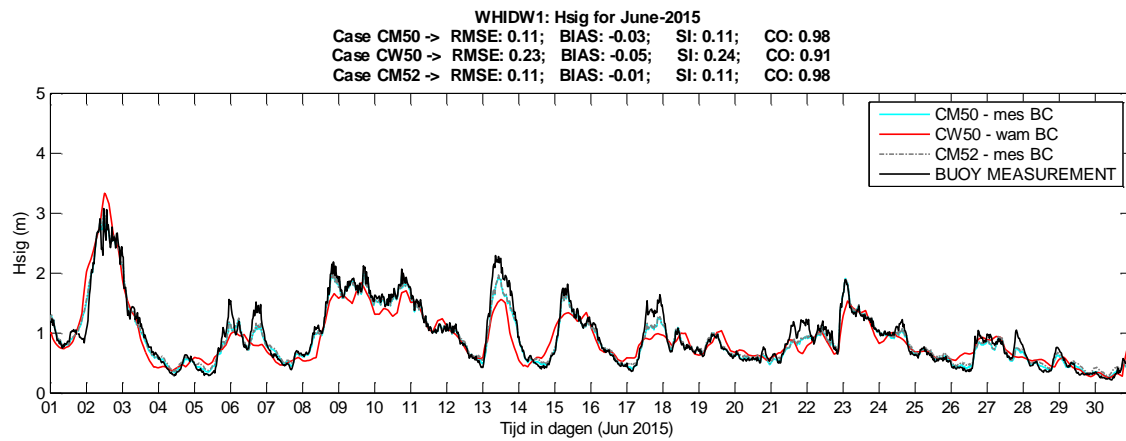
ANNEX 2. GESELECTEERDE STORM CONDITIES (periode juni-augustus 2015)

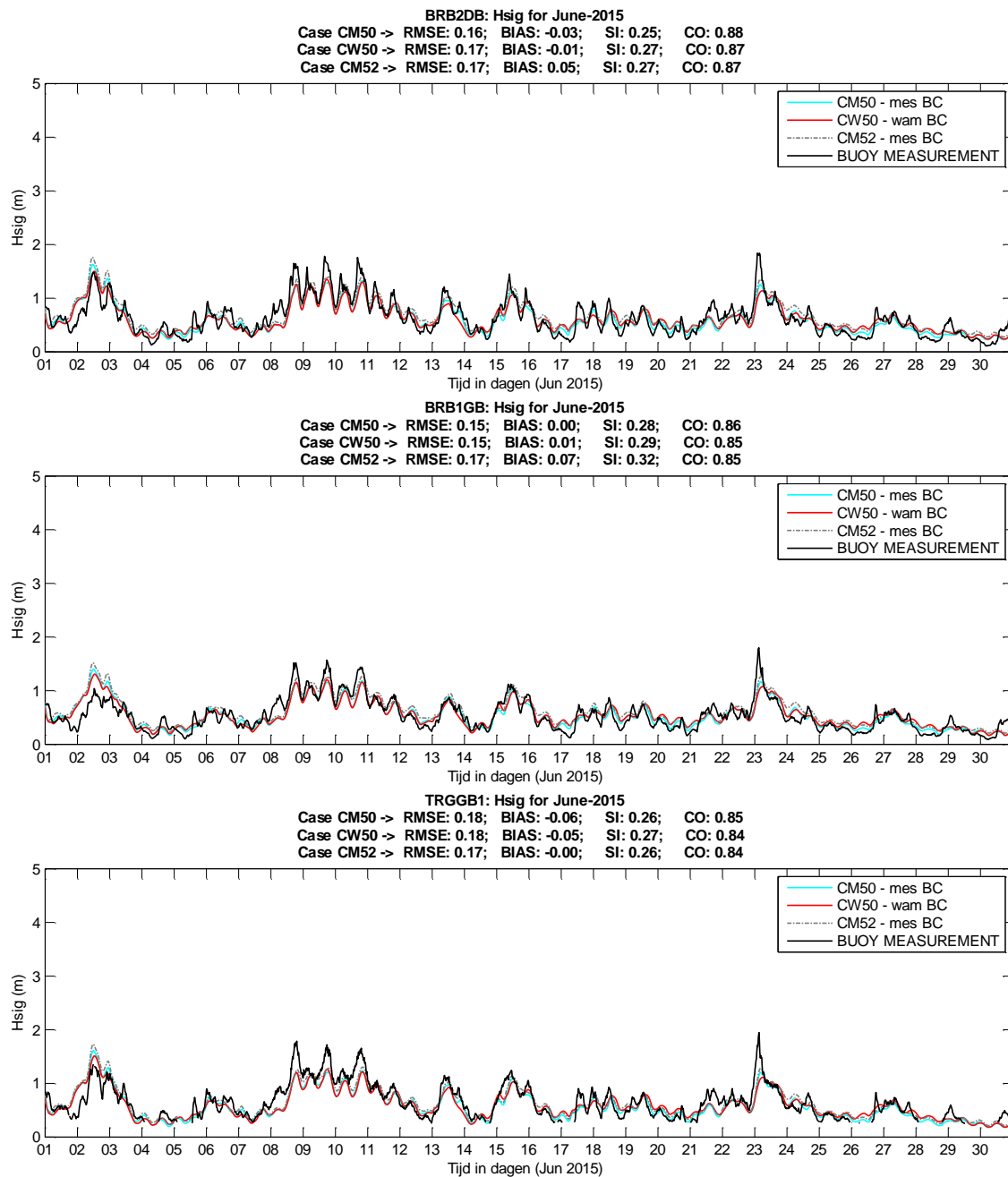
In de maand juli (zie Figuur 2.1) zijn golven overwegend uit westelijke richting. Op 25-26 juli golven uit noorderlijke wordt de golfhoogte op de diepste locaties bijna 3m, en wordt de voor deze studie gehanteerde minimum limiet van 2m voor storm overschreden. Deze periode zal dan ook meegenomen worden als storm in de numerieke simulatie, aangezien met de noordwestelijke tot noordelijke richting ook aan het criterium voor de richting wordt voldaan.



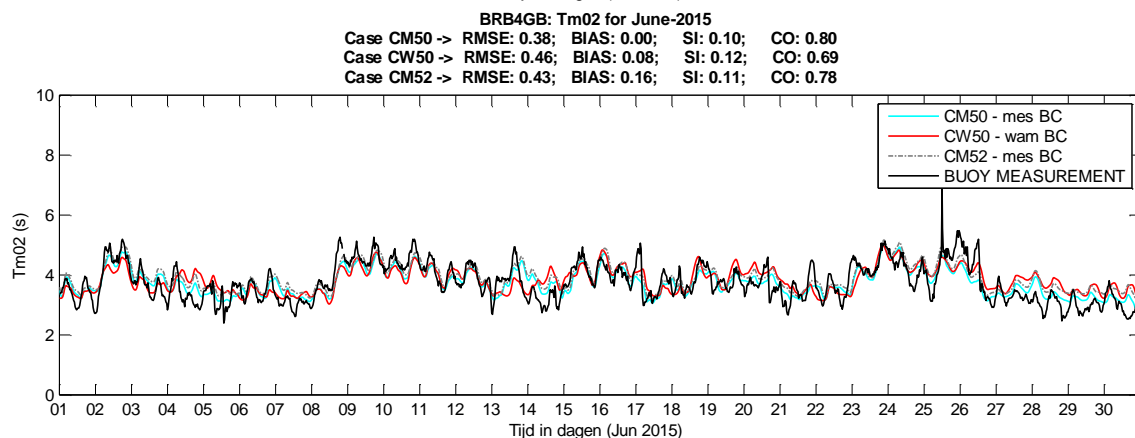
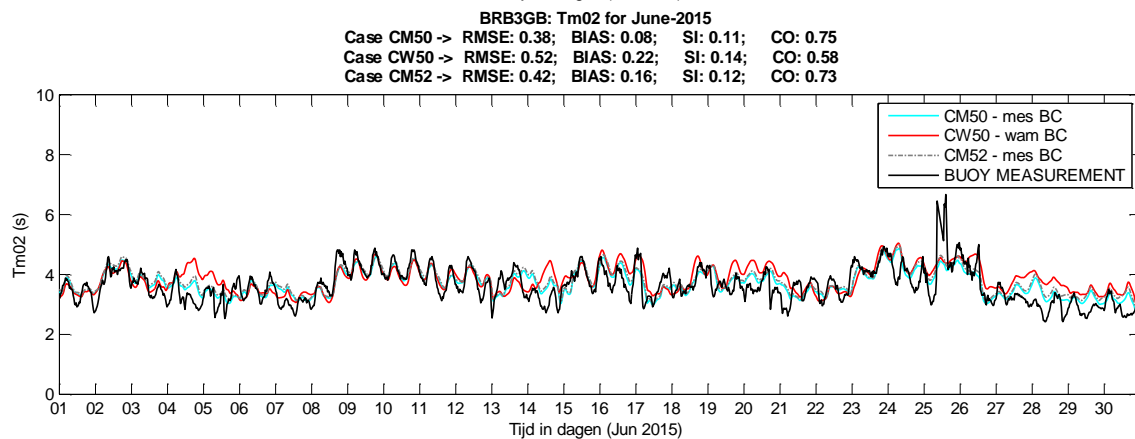
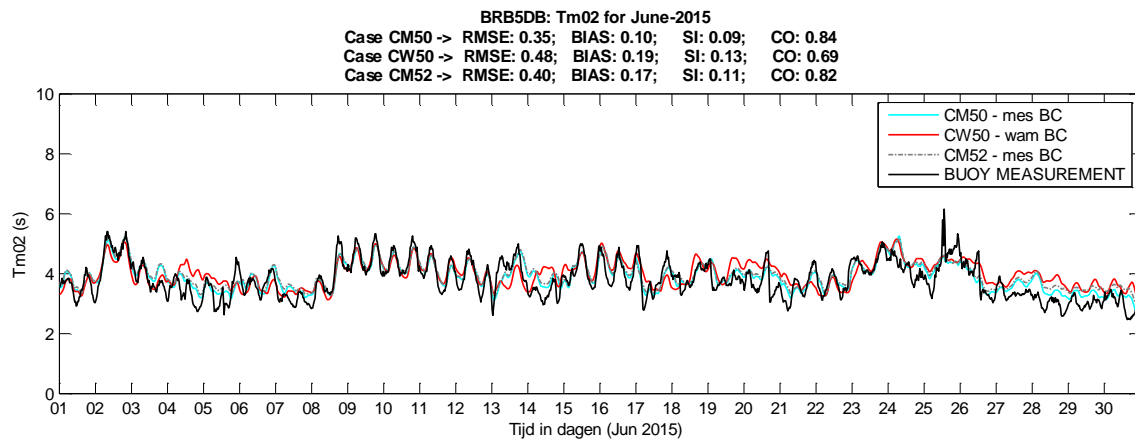
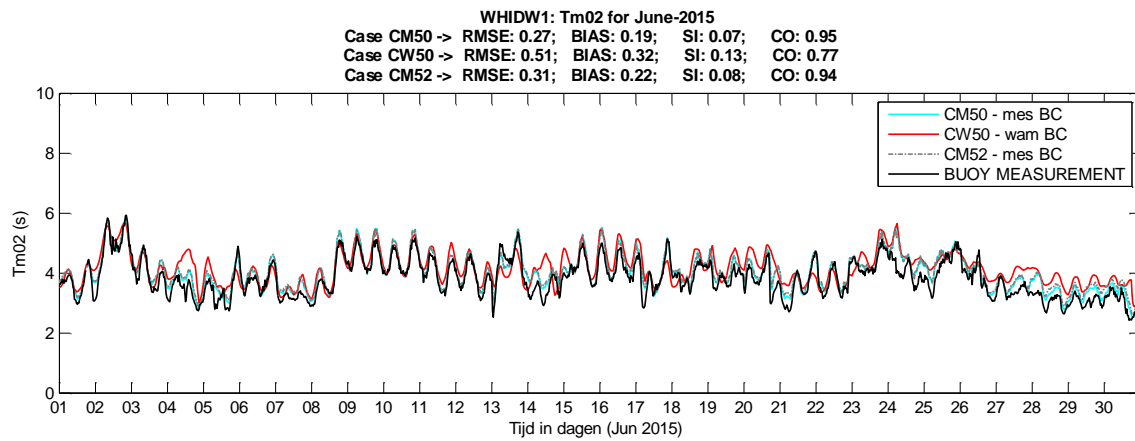
Figuur 2.1. Geselecteerde stormcondities in juli 2015 (WHIDW1 locatie).

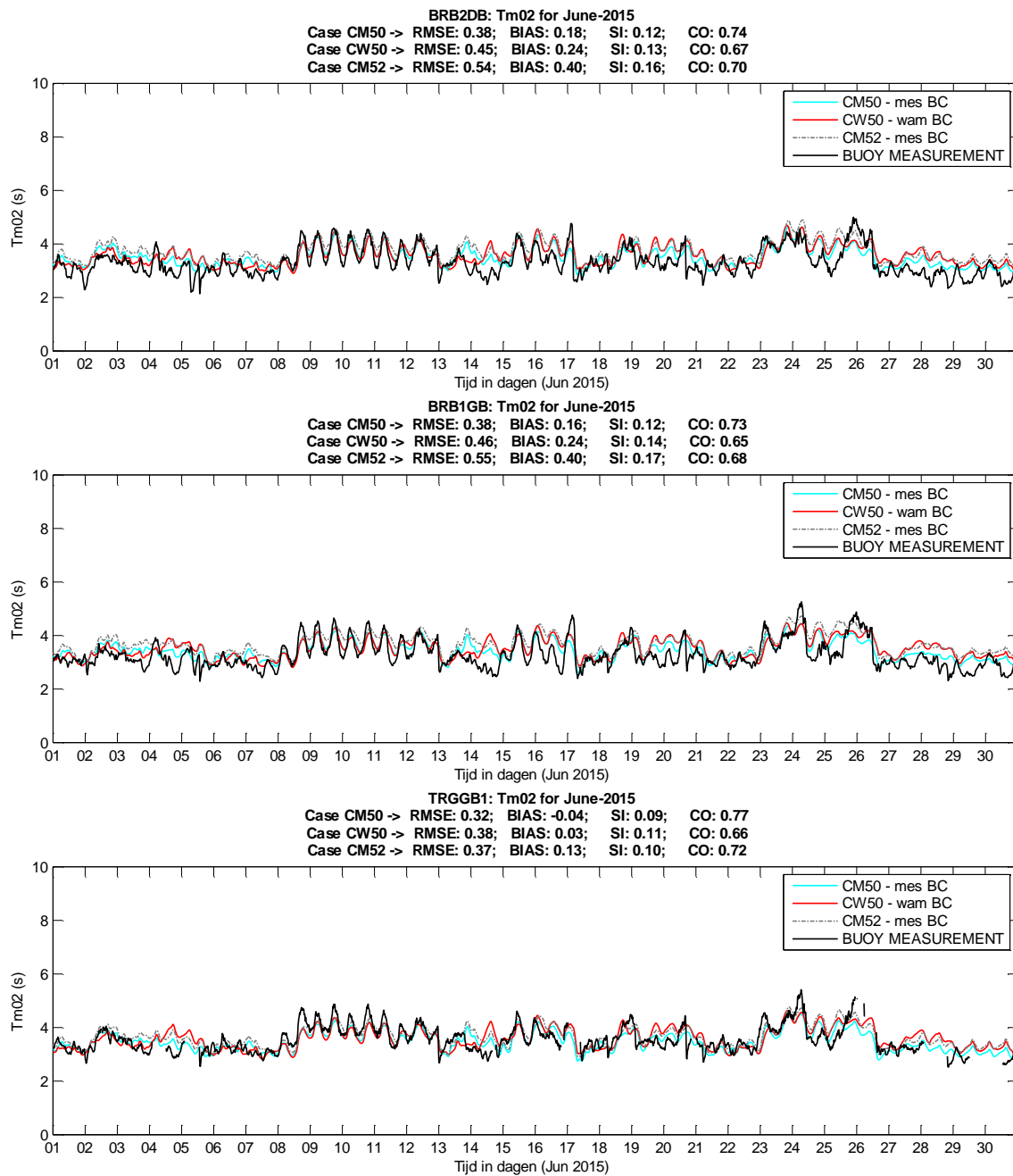
ANNEX 3. TIJDREEKSEN VAN DE VOLLEDIGE MAAND MODEL BELANGRIJKSTE GOLFPARAMETERS



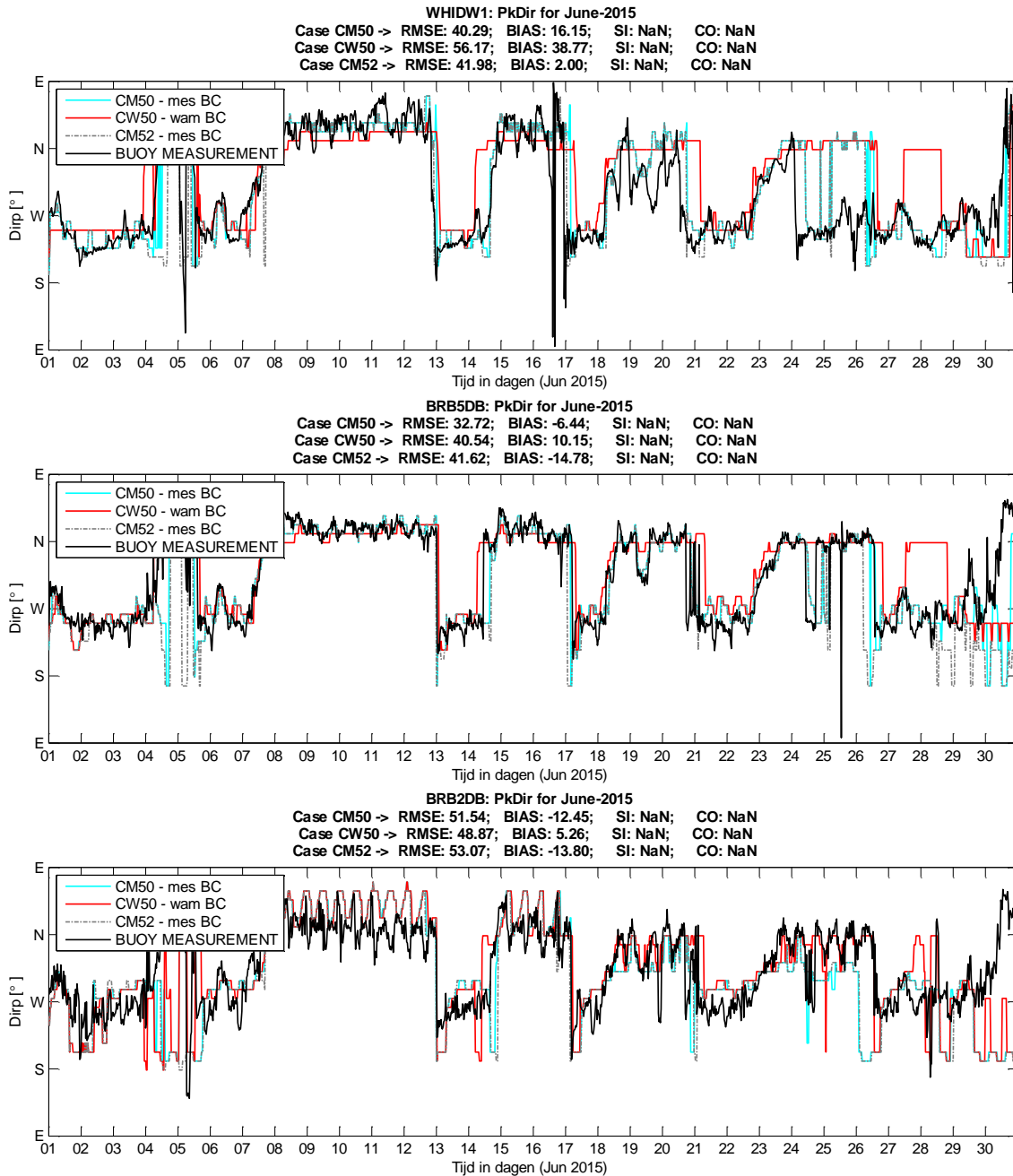


Figuur 3.1. (ook figuren op vorige pagina) Modelresultaat Hm0 simulatie juni 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB, BRB3GB, BRB4GB, BRB2DB, BRB1GB en TRGGB1.

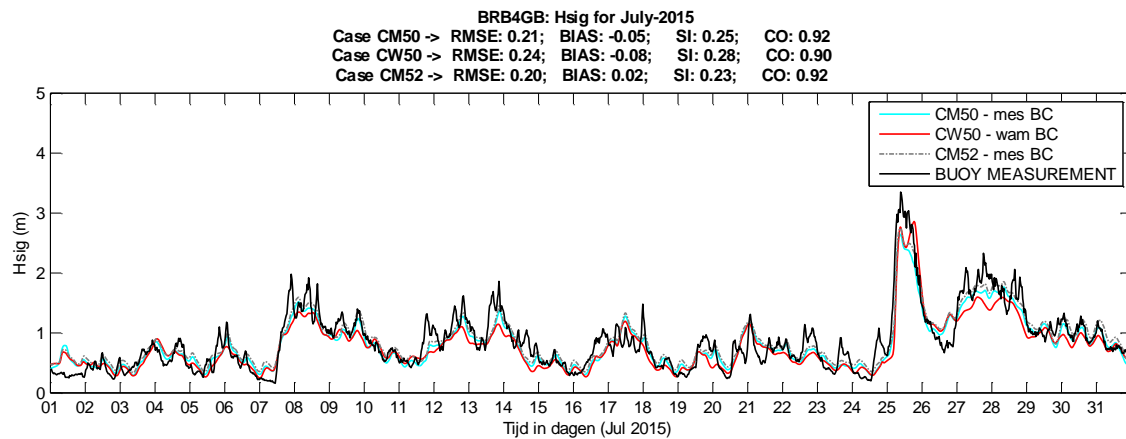
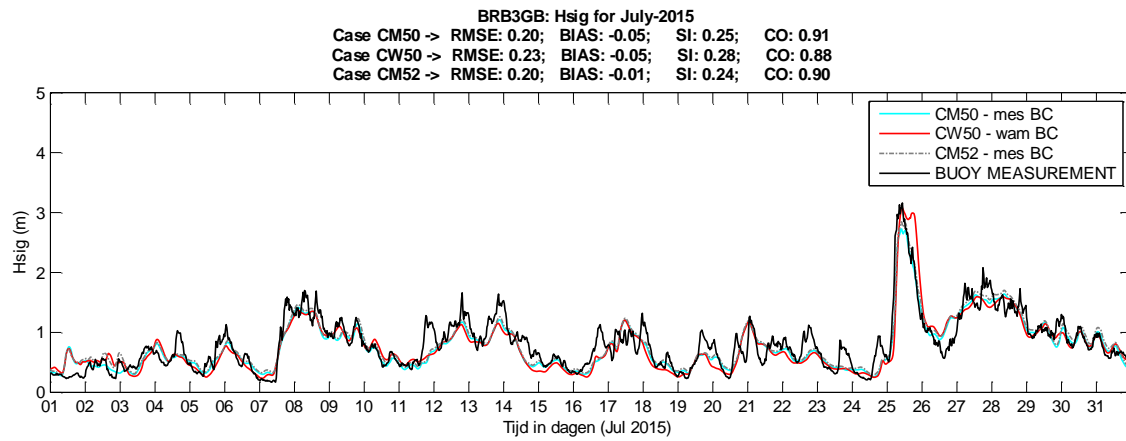
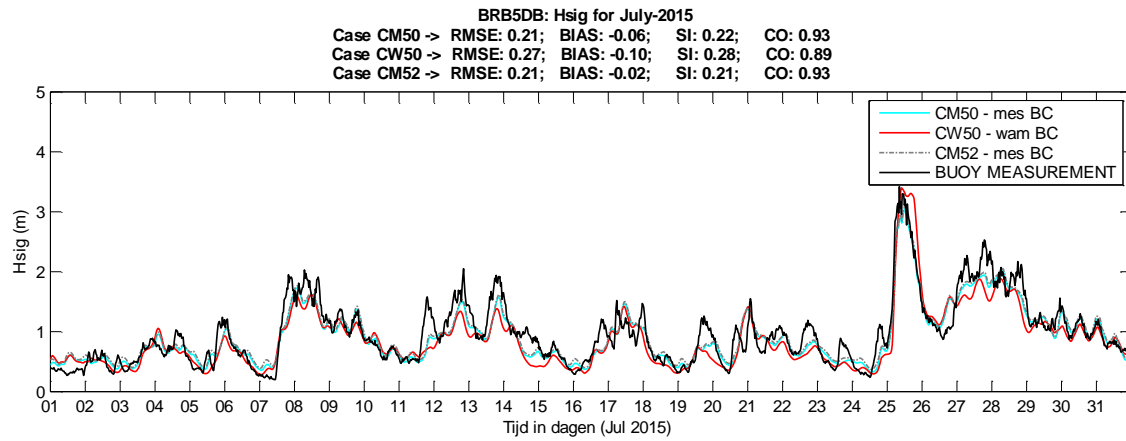
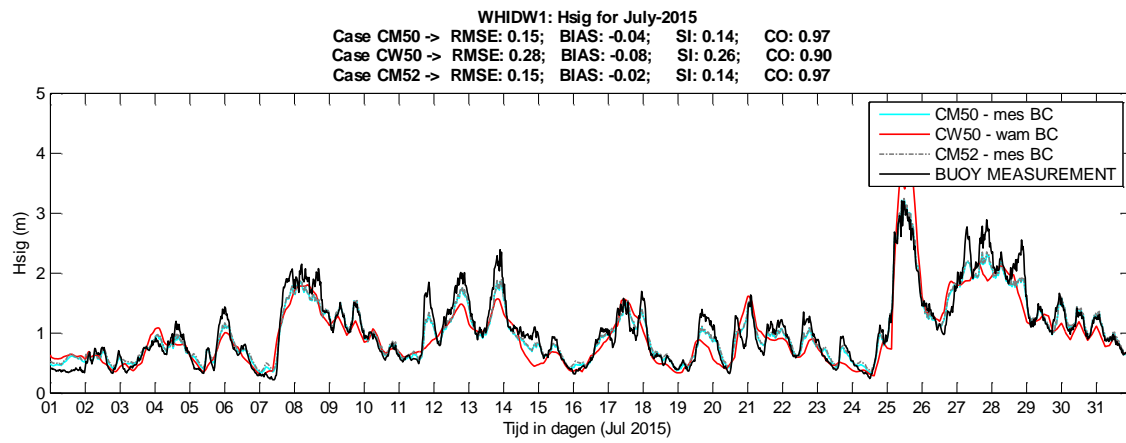


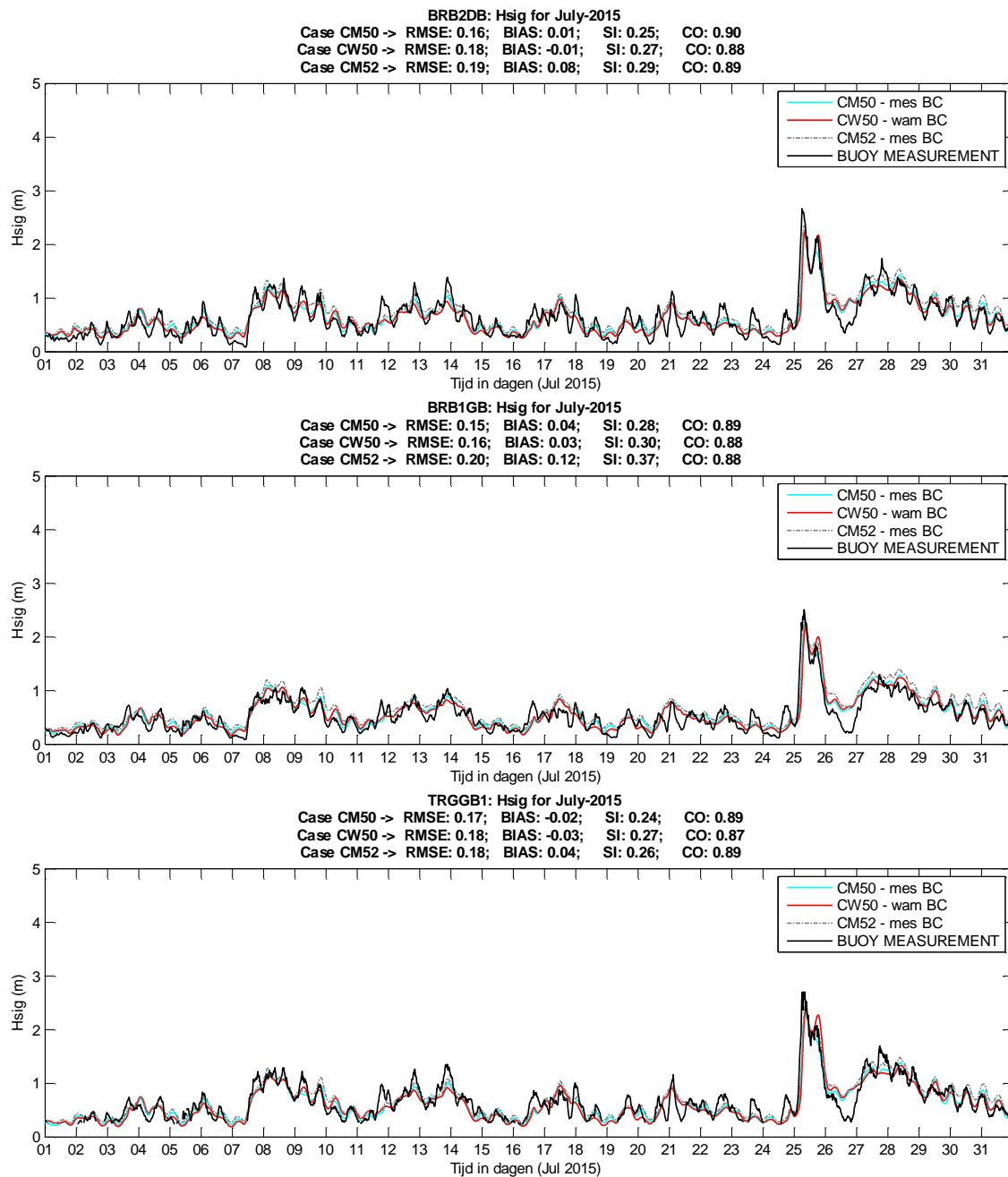


Figuur 3.2. (ook figuren op vorige pagina) Modelresultaat Tm02 simulatie juni 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB, BRB3GB, BRB4GB, BRB2DB, BRB1GB en TRGGB1.

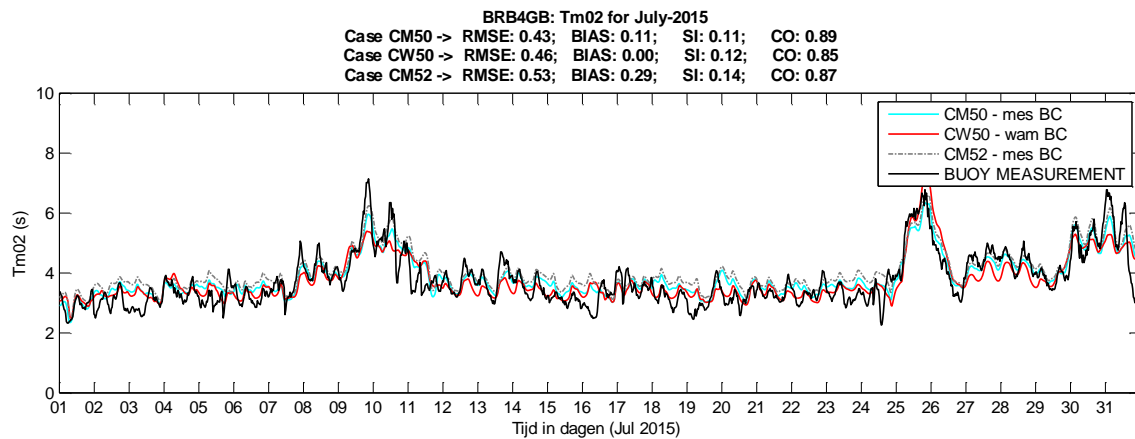
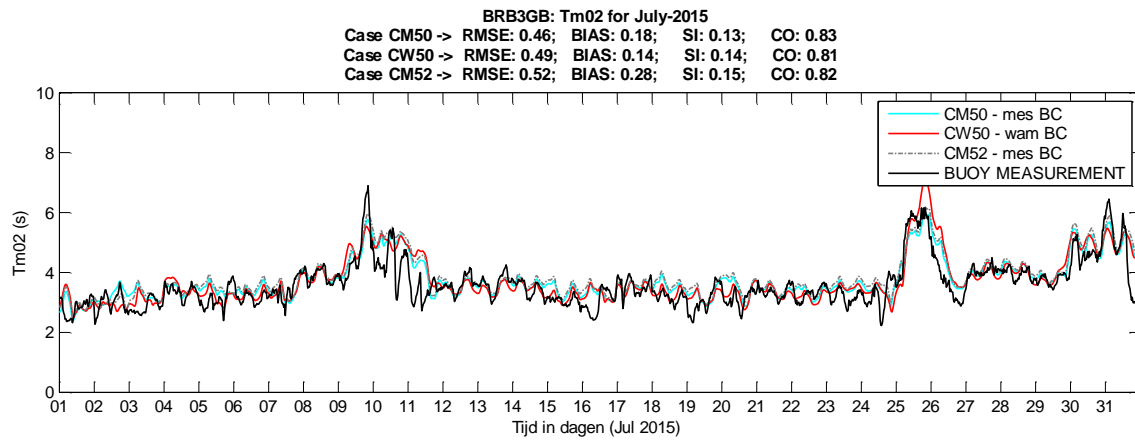
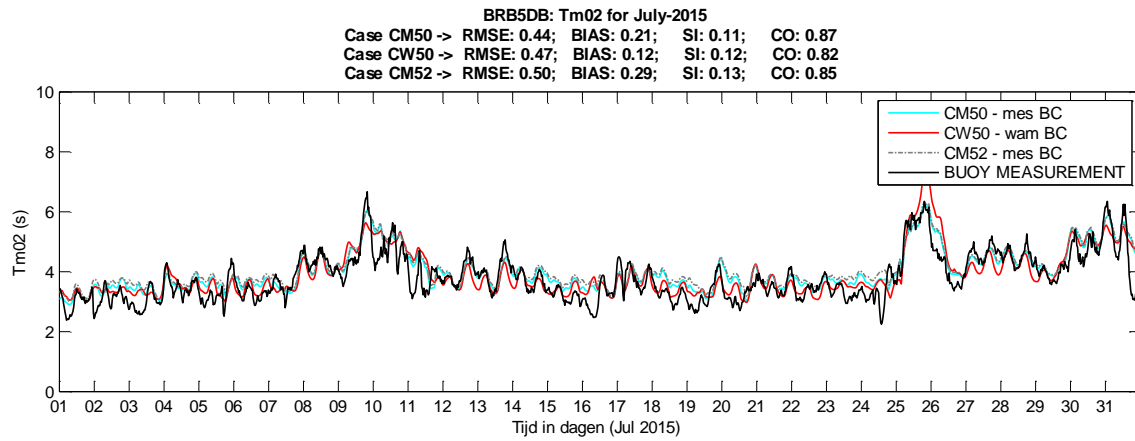
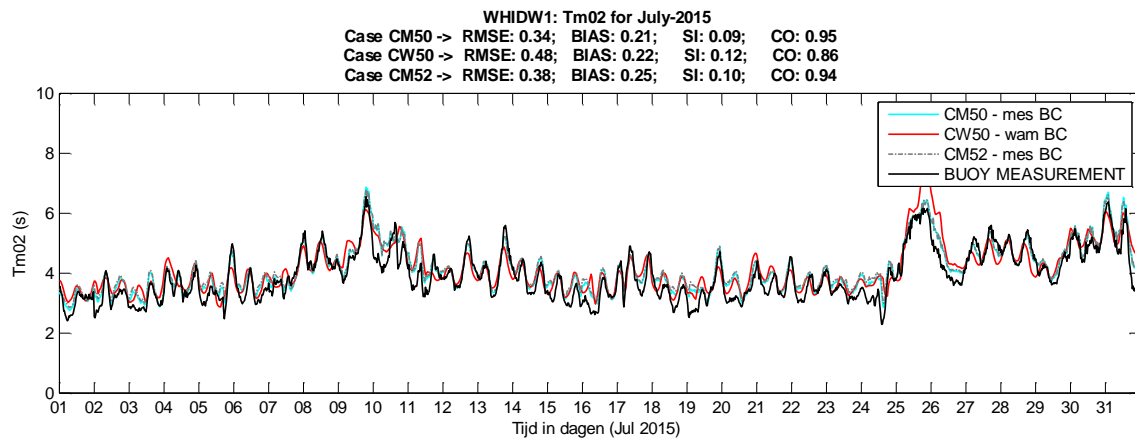


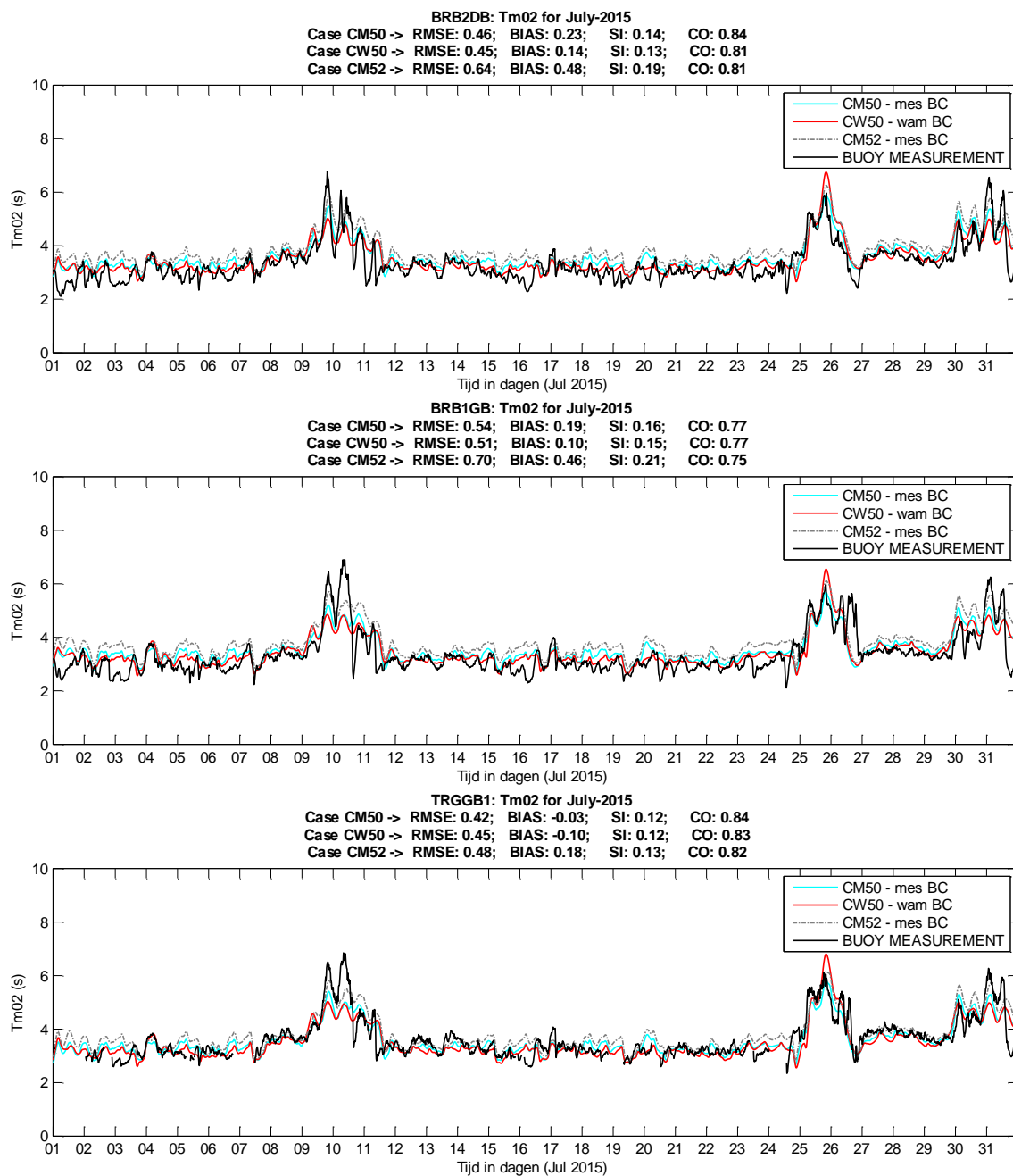
Figuur 3.3. Modelresultaat piekgolfrichting simulatie juni 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB en BRB2DB.



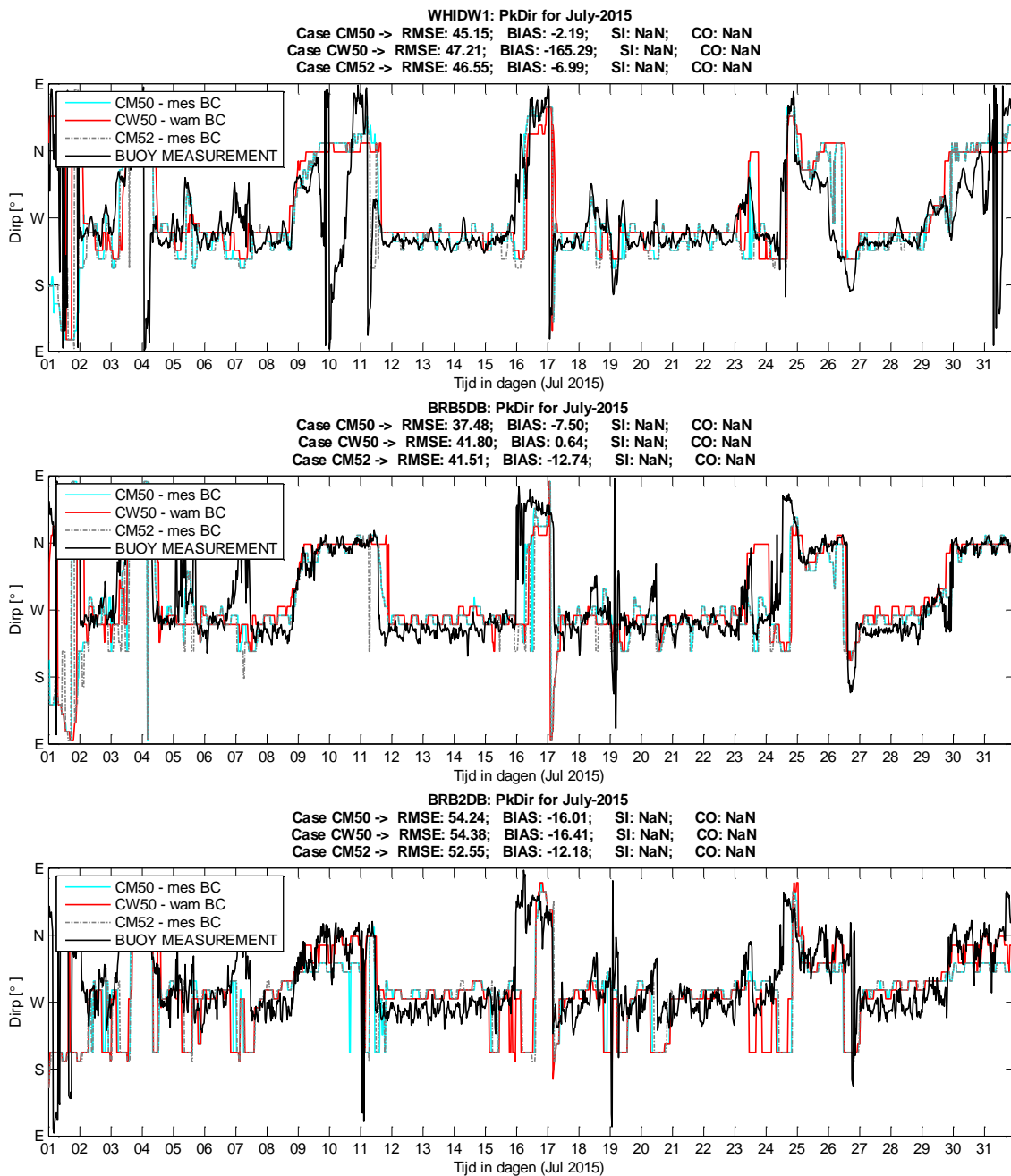


Figuur 3.4. (ook figuren op vorige pagina) Modelresultaat Hm0 simulatie Juli 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB, BRB3GB, BRB4GB, BRB2DB, BRB1GB en TRGGB1.

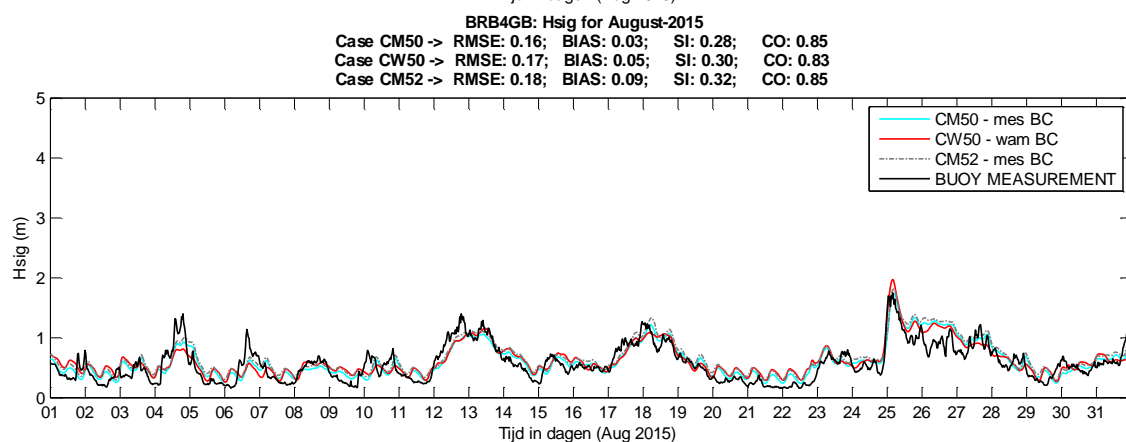
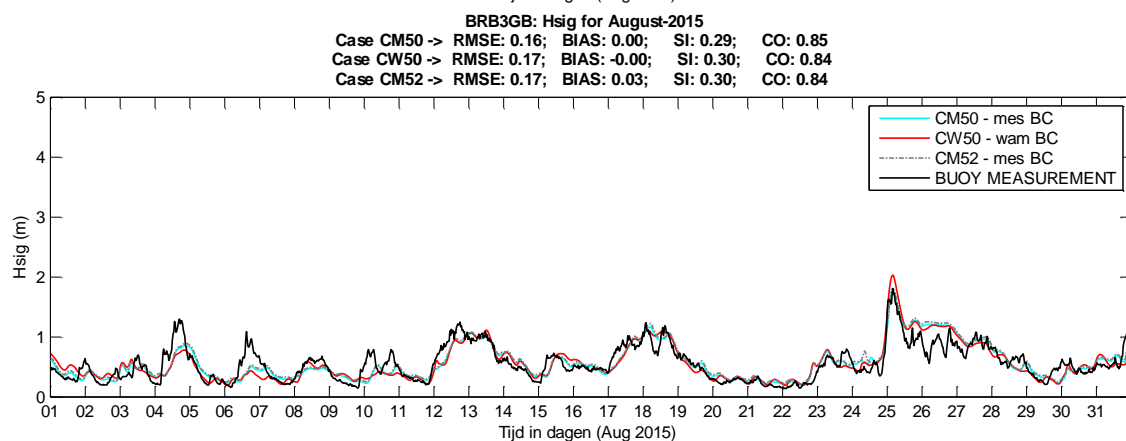
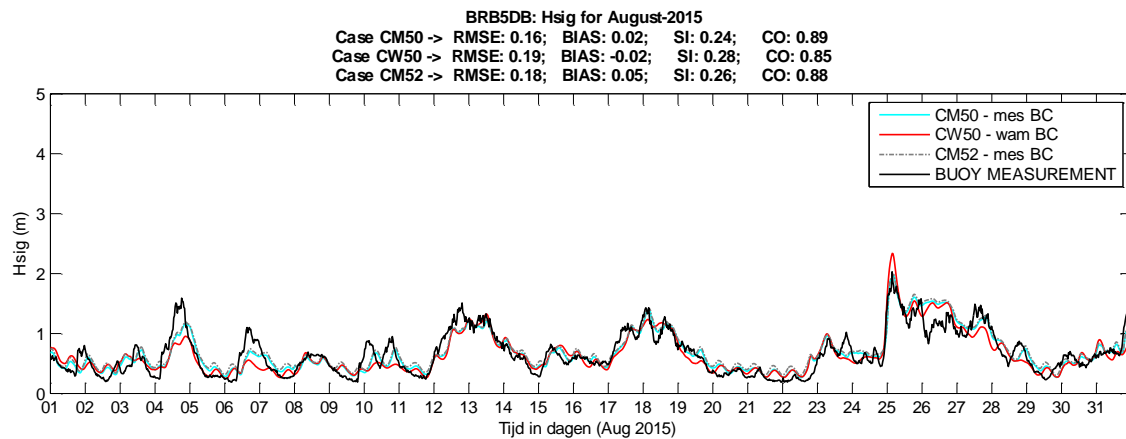
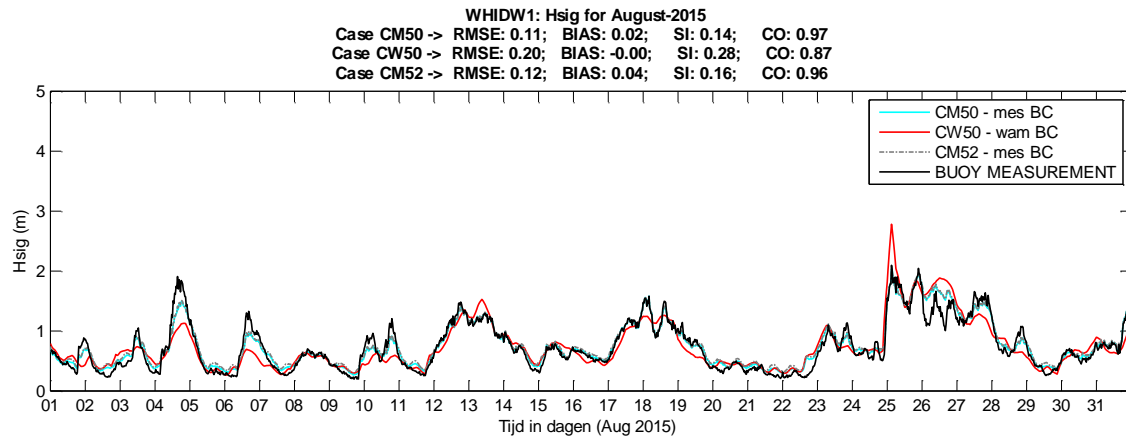


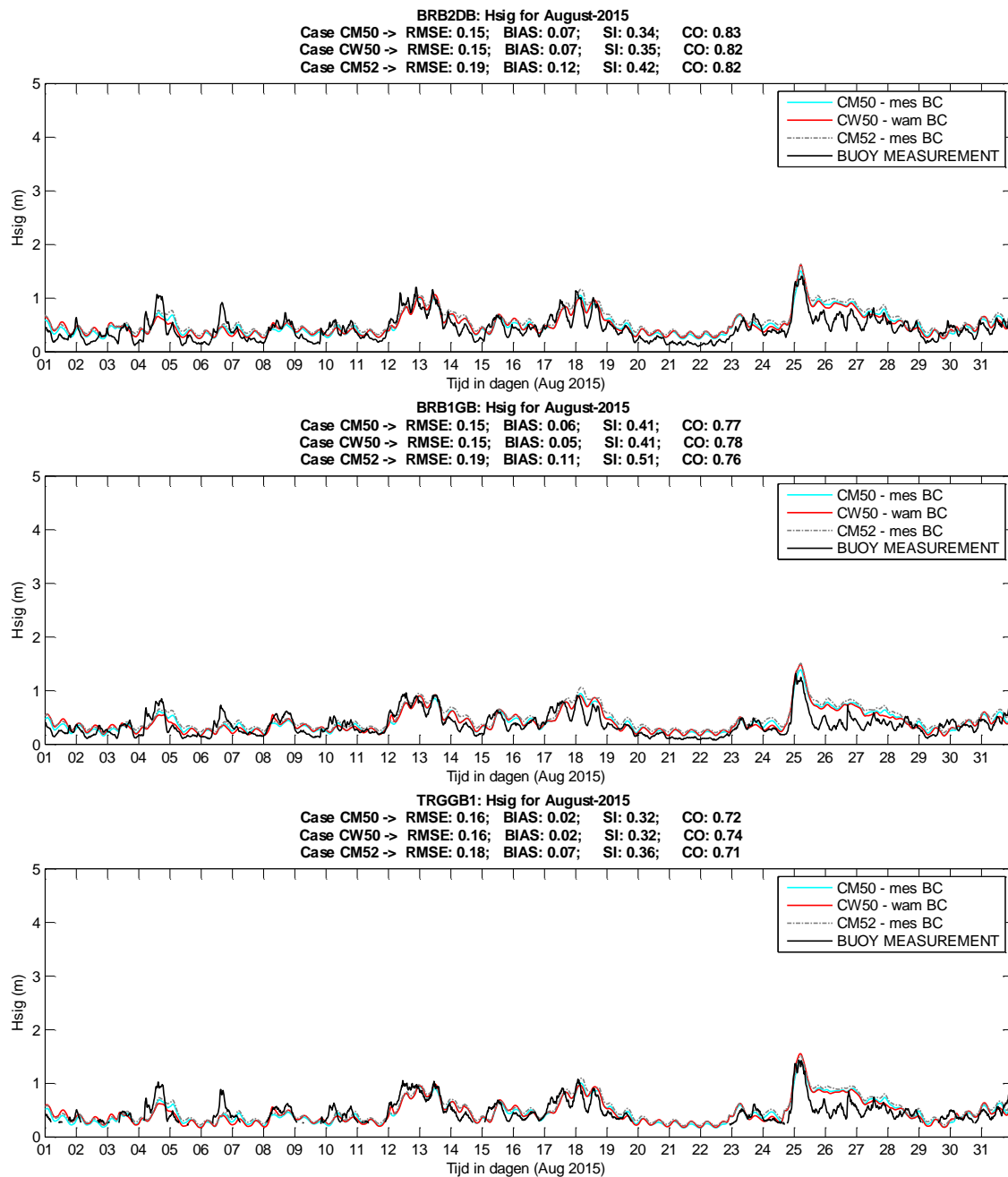


Figuur 3.5. (ook figuren op vorige pagina) Modelresultaat Tm02 simulatie juli 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB, BRB3GB, BRB4GB, BRB2DB, BRB1GB en TRGGB1.

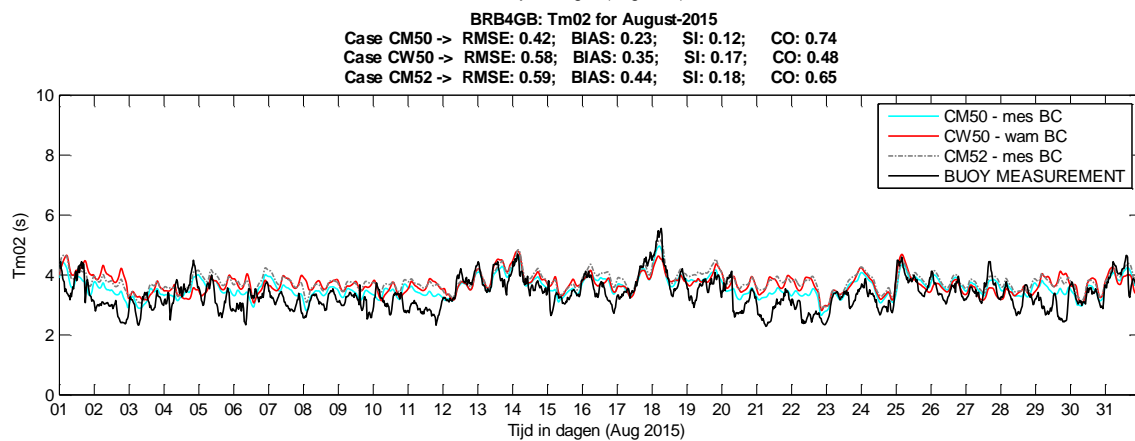
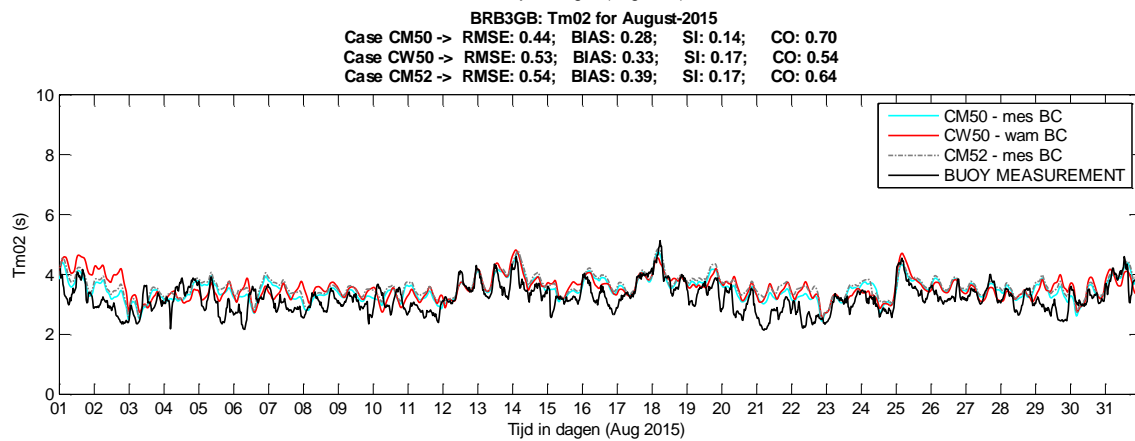
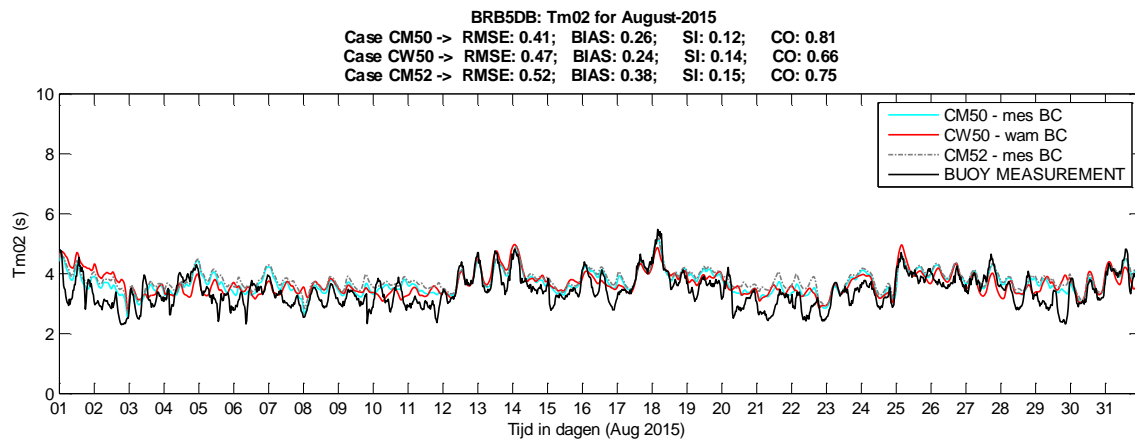
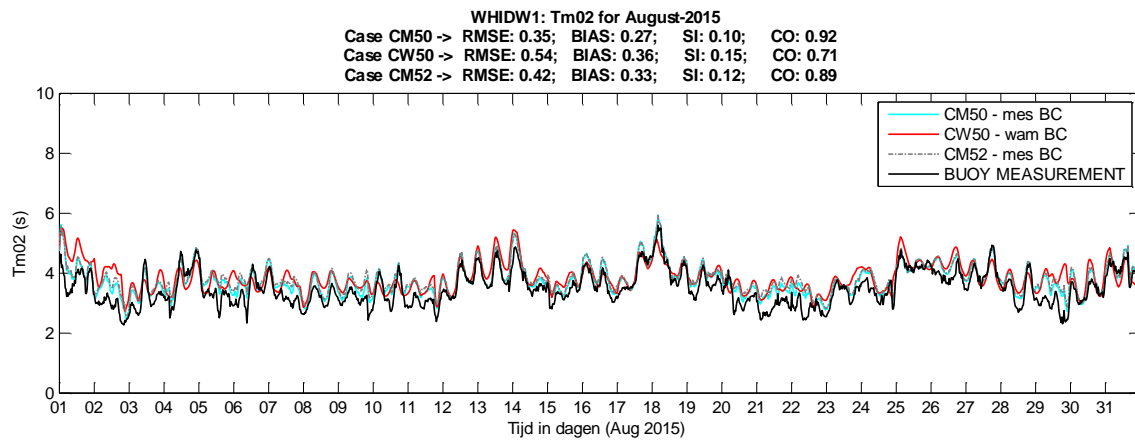


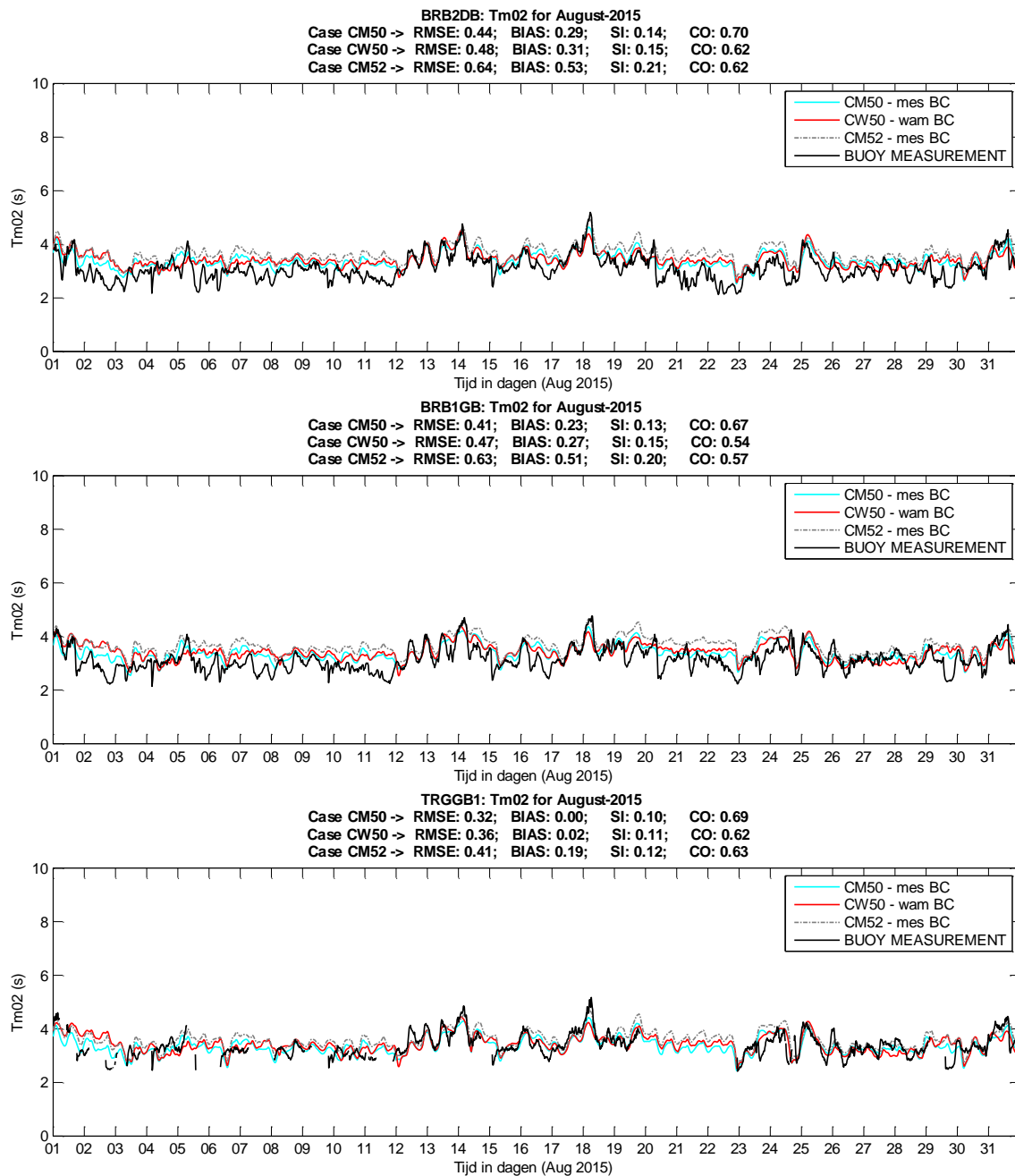
Figuur 3.6. Modelresultaat piekgolfrichting simulatie juli 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB en BRB2DB.



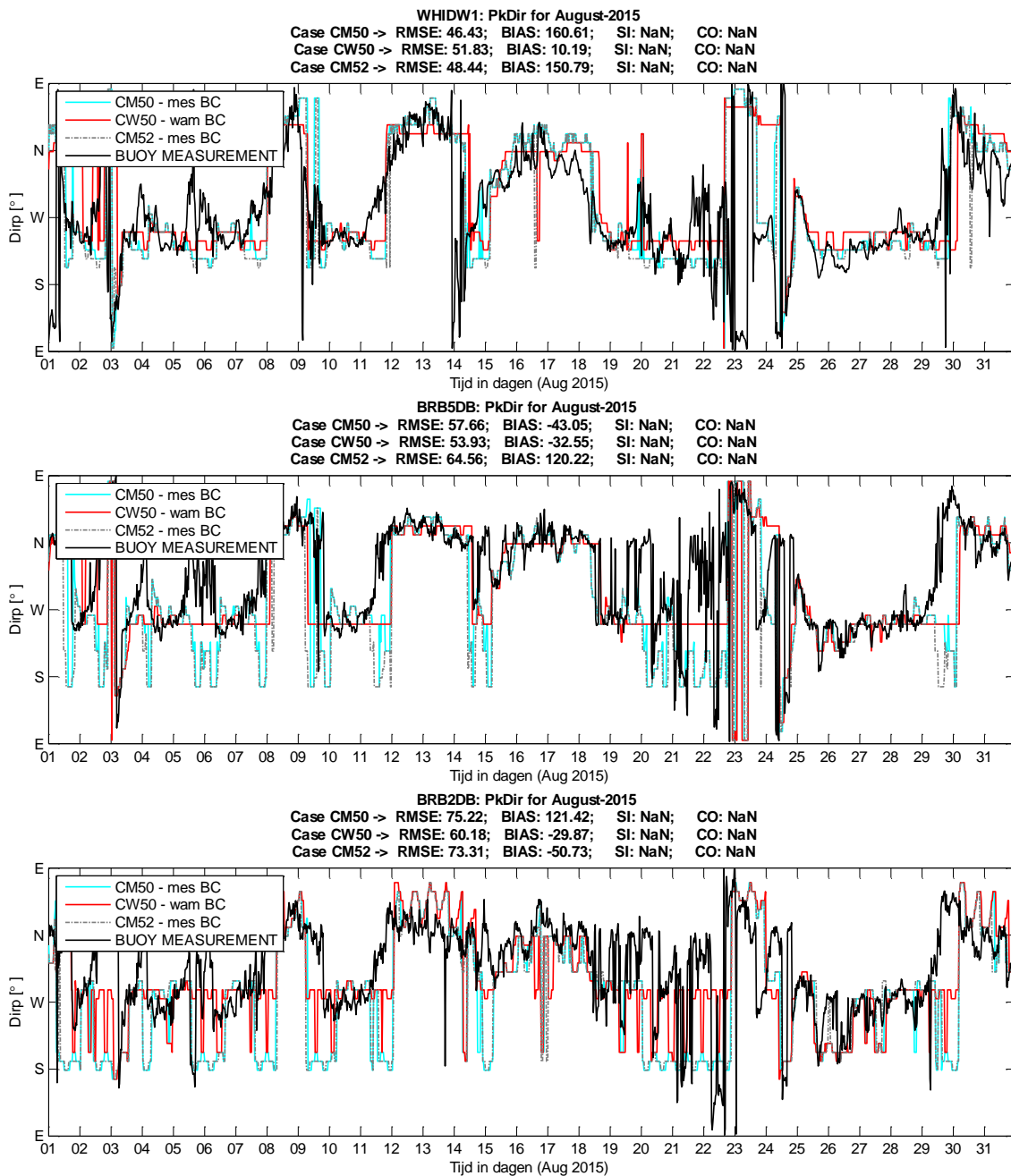


Figuur 3.7. (ook figuren op vorige pagina) Modelresultaat Hm0 simulatie augustus 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB, BRB3GB, BRB4GB, BRB2DB, BRB1GB en TRGGB1.





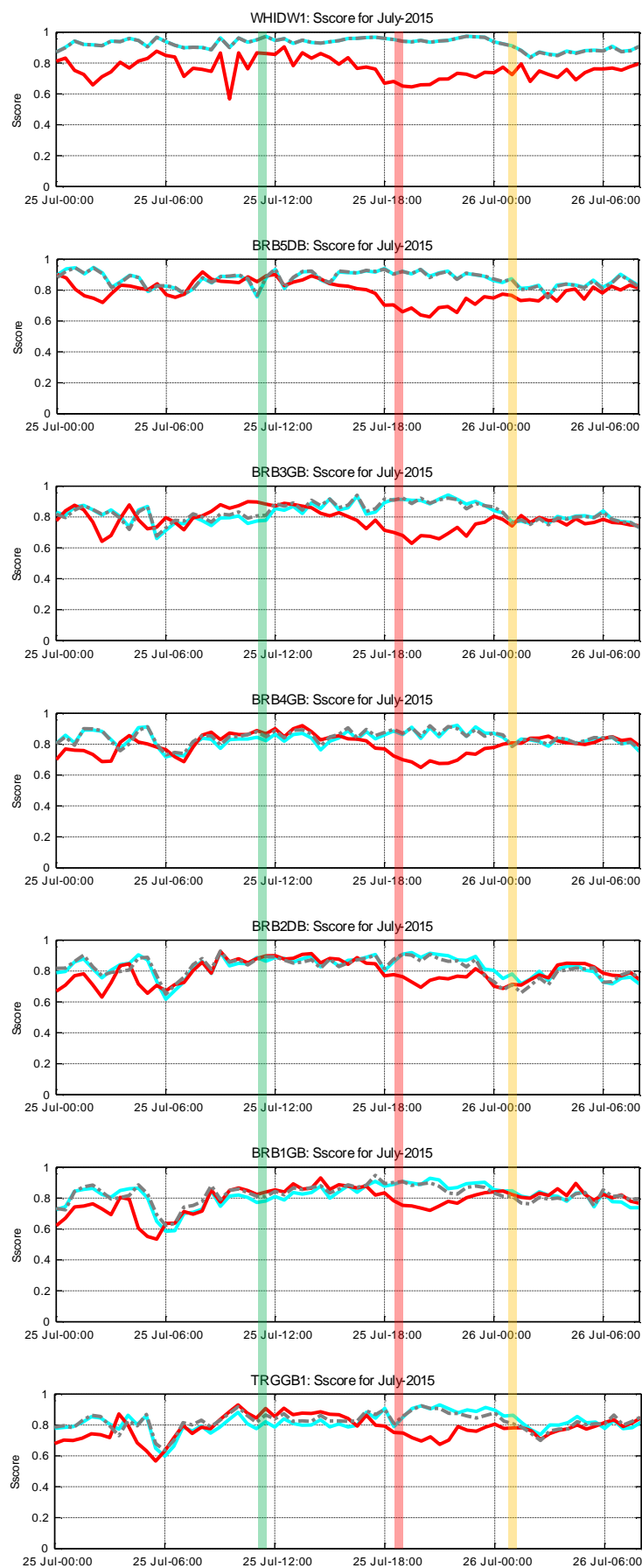
Figuur 3.8. (ook figuren op vorige pagina) Modelresultaat Tm02 simulatie augustus 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB, BRB3GB, BRB4GB, BRB2DB, BRB1GB en TRGGB1.



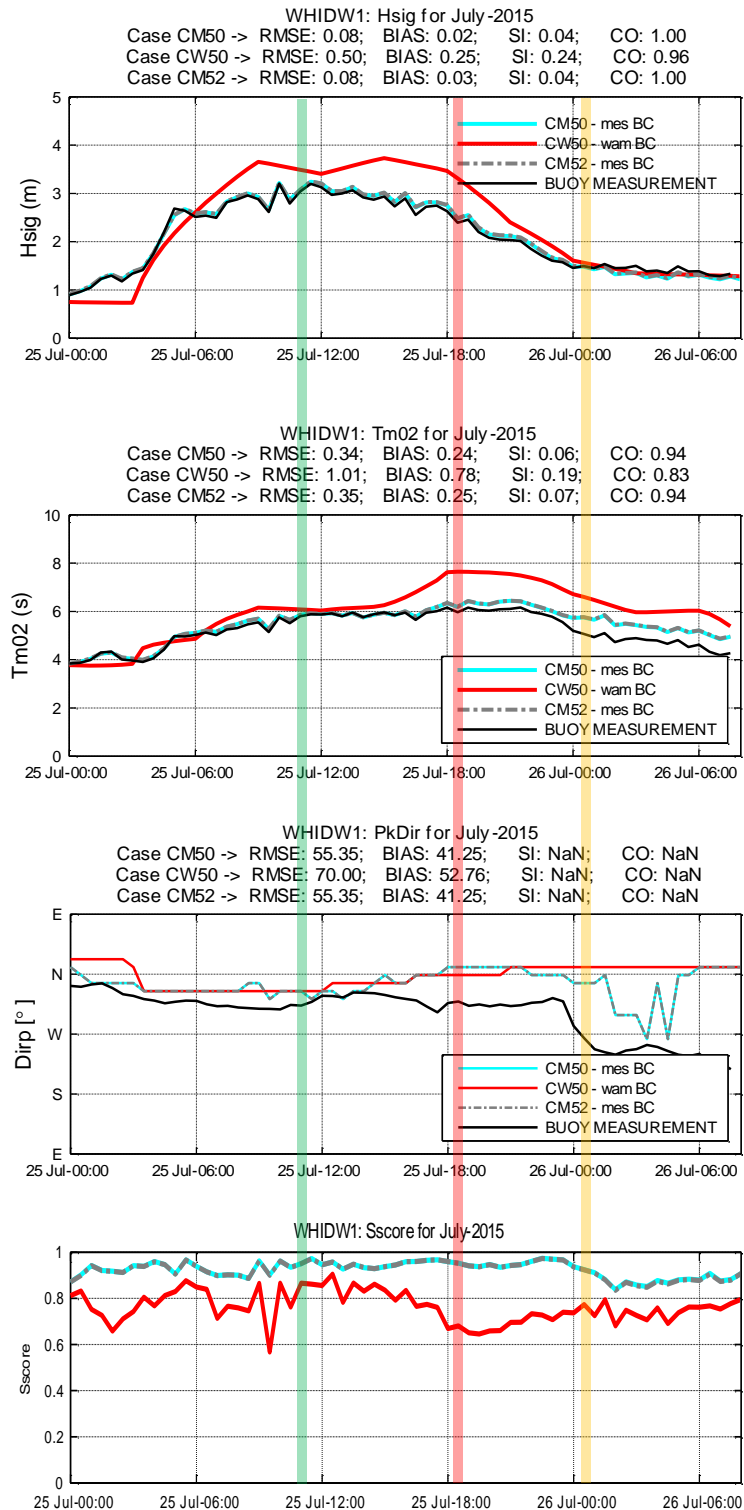
Figuur 3.9. Modelresultaat piekgolfrichting simulatie augustus 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB en BRB2DB.

ANNEX 4. S-SCORE EN STORM ANALYSE

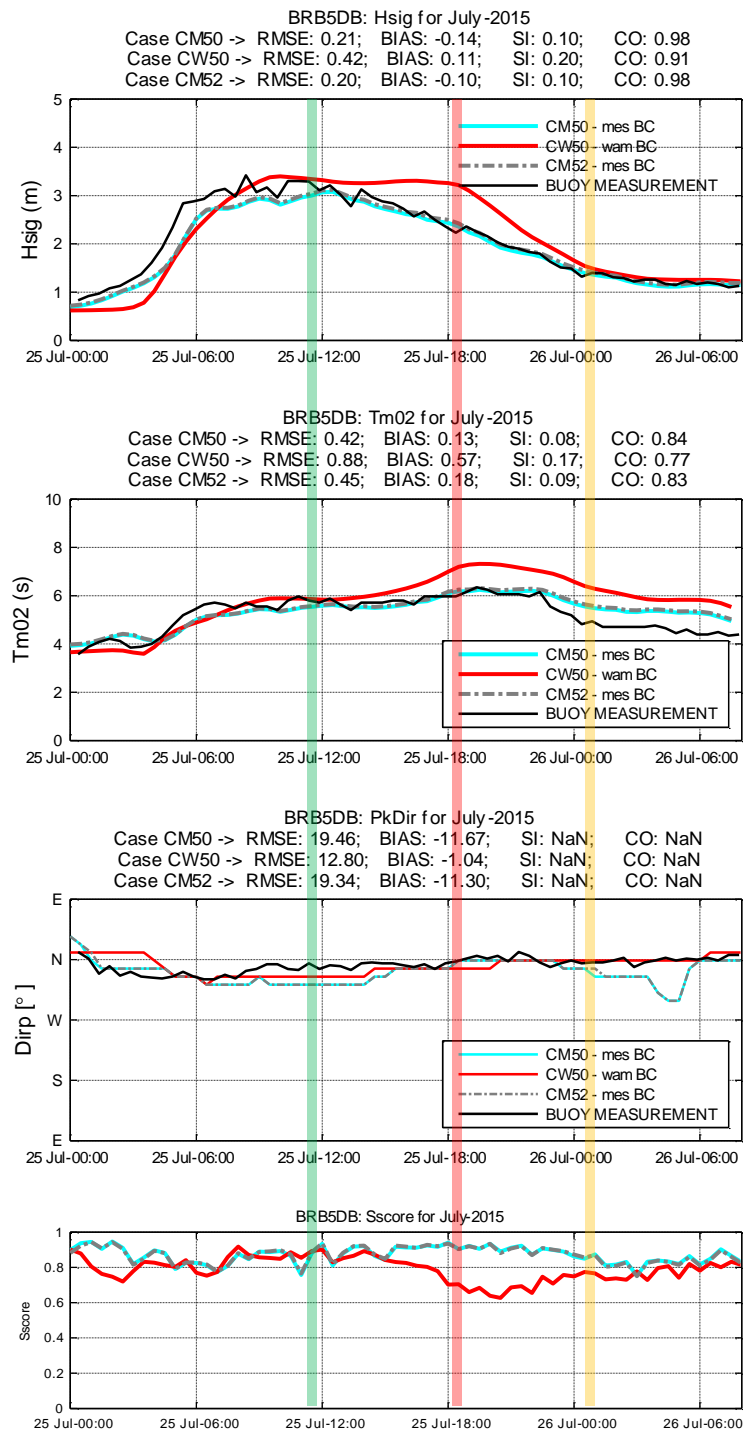
Storm 25-26 juli 2015.



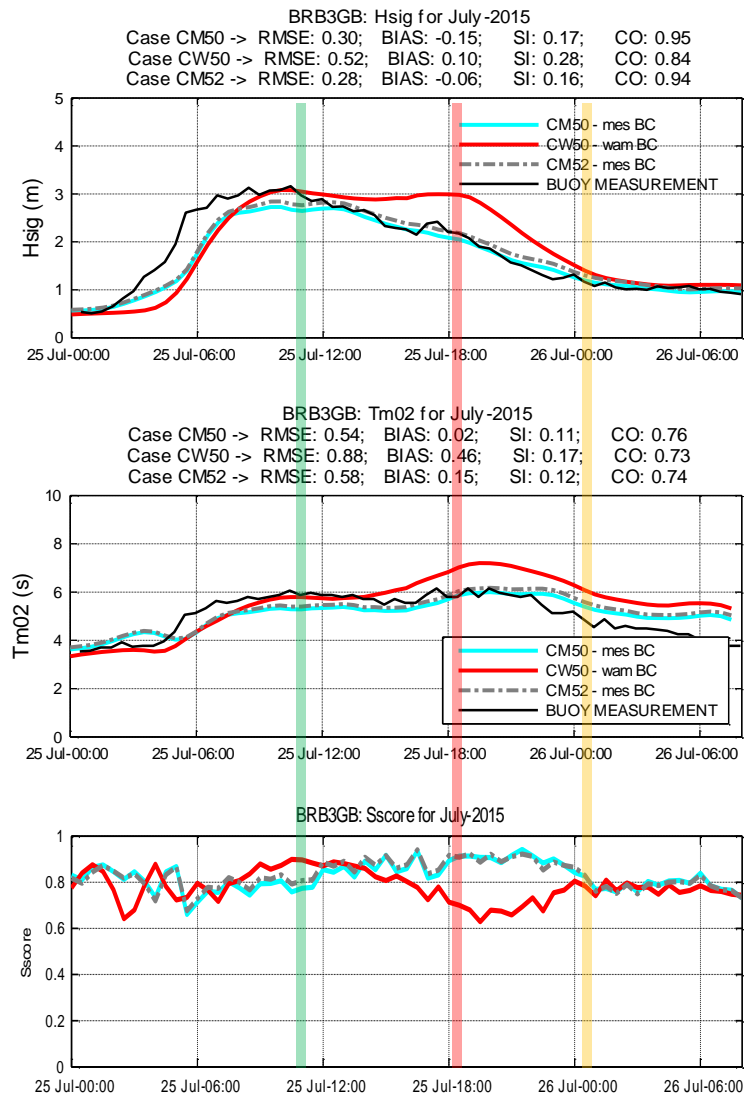
Figuur 4.1. Tijdreeksen S-score voor de 7 locaties voor de storm van 25-26 juli.



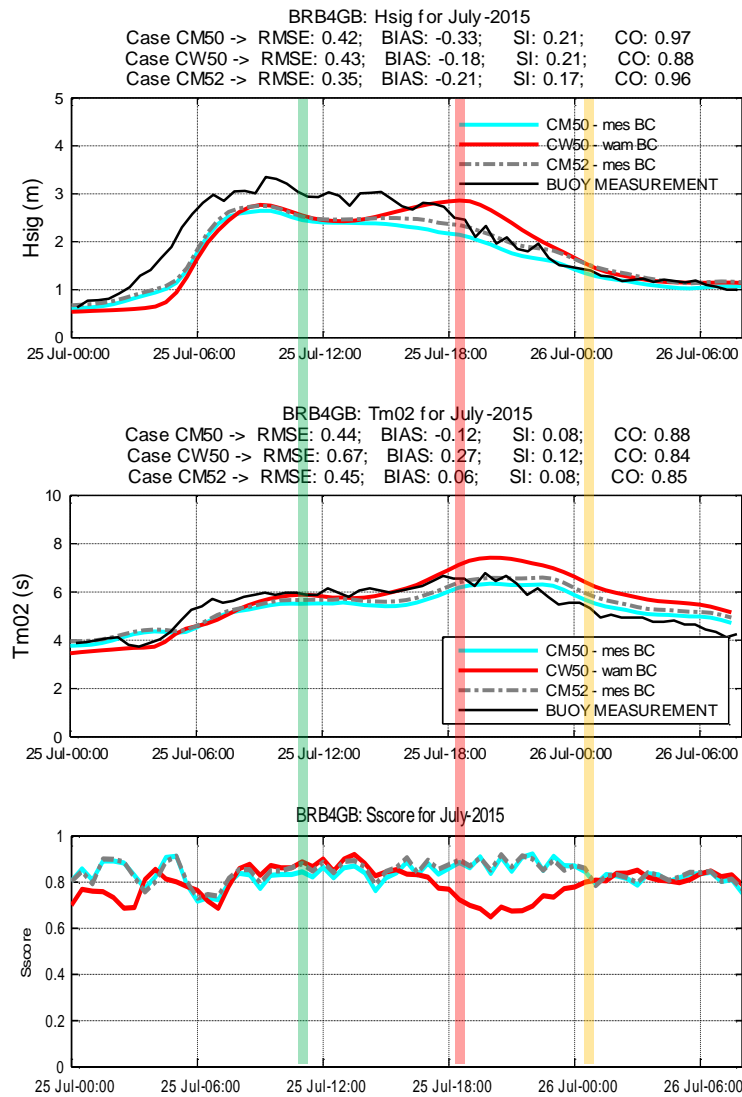
Figuur 4.2. Modelresultaat Hmo, Tm02, piekgolfrichting en S-score voor storm 25-26 juli 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie WHIDW1.



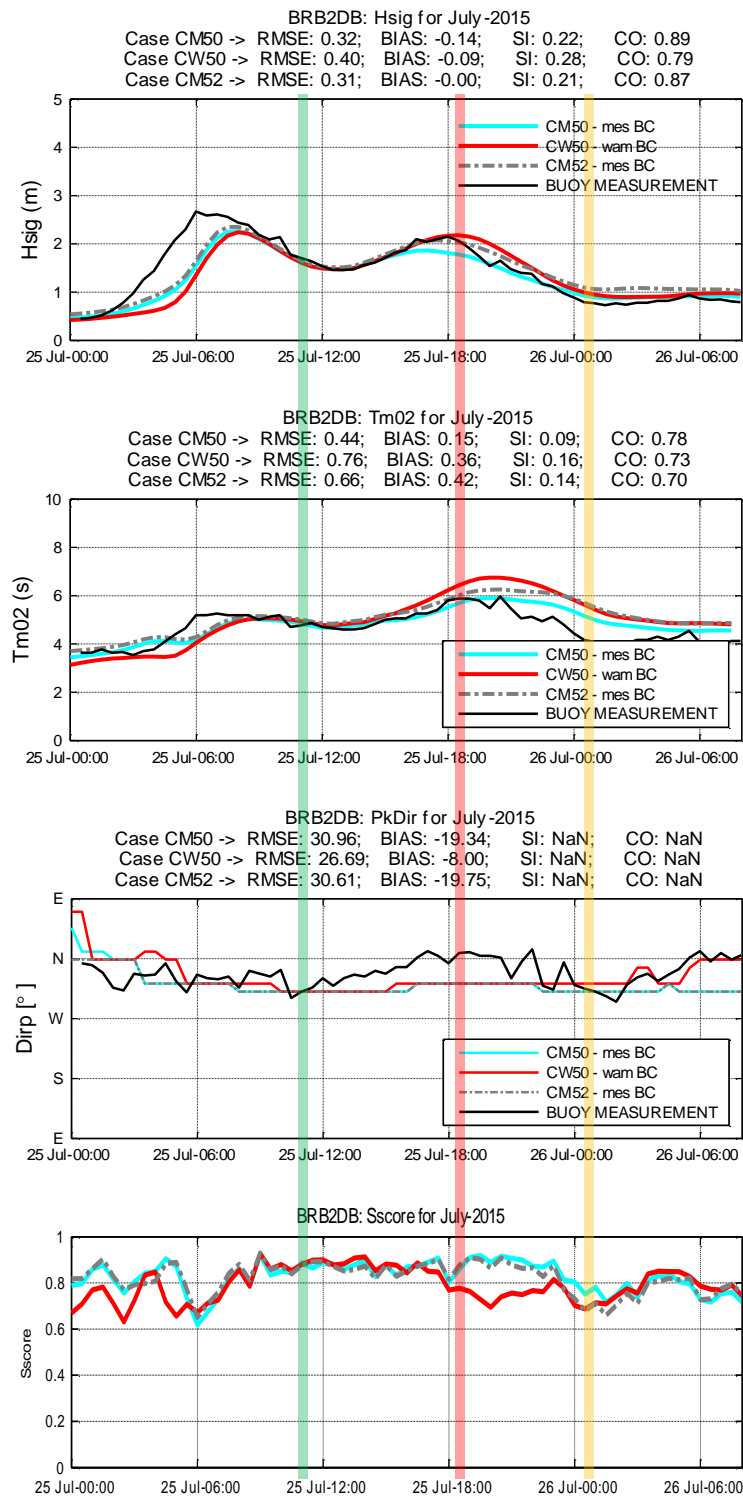
Figuur 4.3. Modelresultaat Hmo, Tm02, piekgolfrichting en S-score voor storm 25-26 juli 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie BRB5DB.



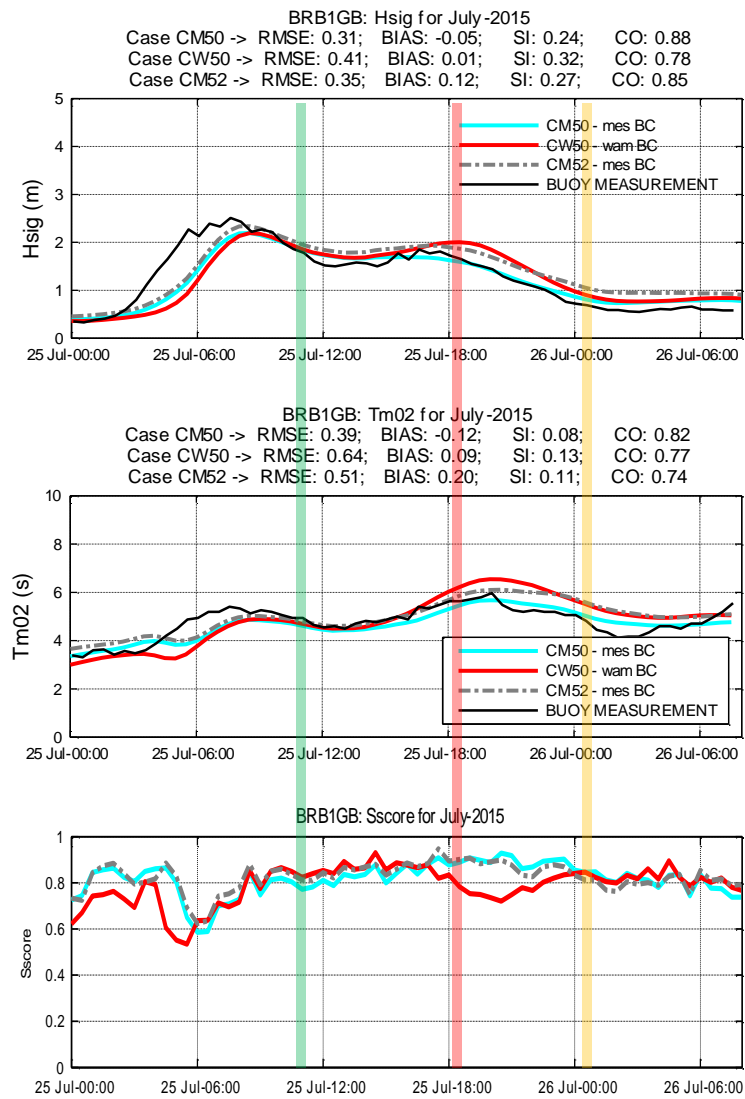
Figuur 4.4. Modelresultaat Hmo, Tm02 en S-score voor storm 25-26 juli 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie BRB3GB.



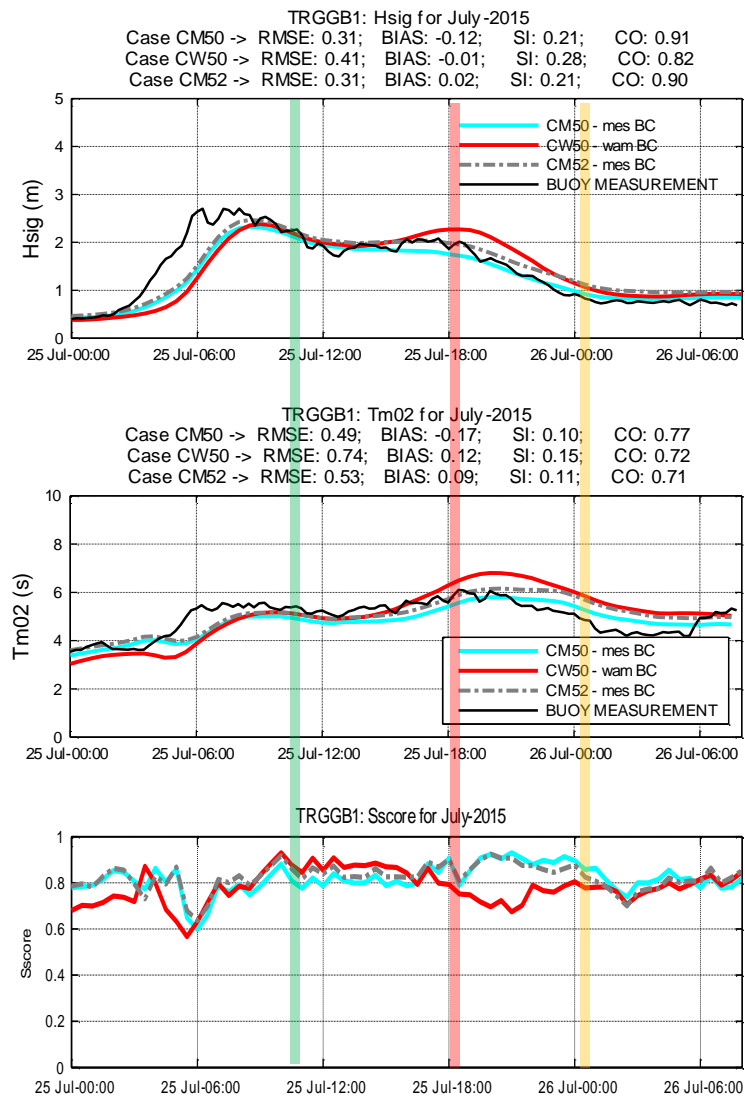
Figuur 4.5. Modelresultaat Hmo, Tm02 en S-score voor storm 25-26 juli 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie BRB4GB.



Figuur 4.6. Modelresultaat Hmo, Tm02, piekgolfrichting en S-score voor storm 25-26 juli 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie BRB2DB.

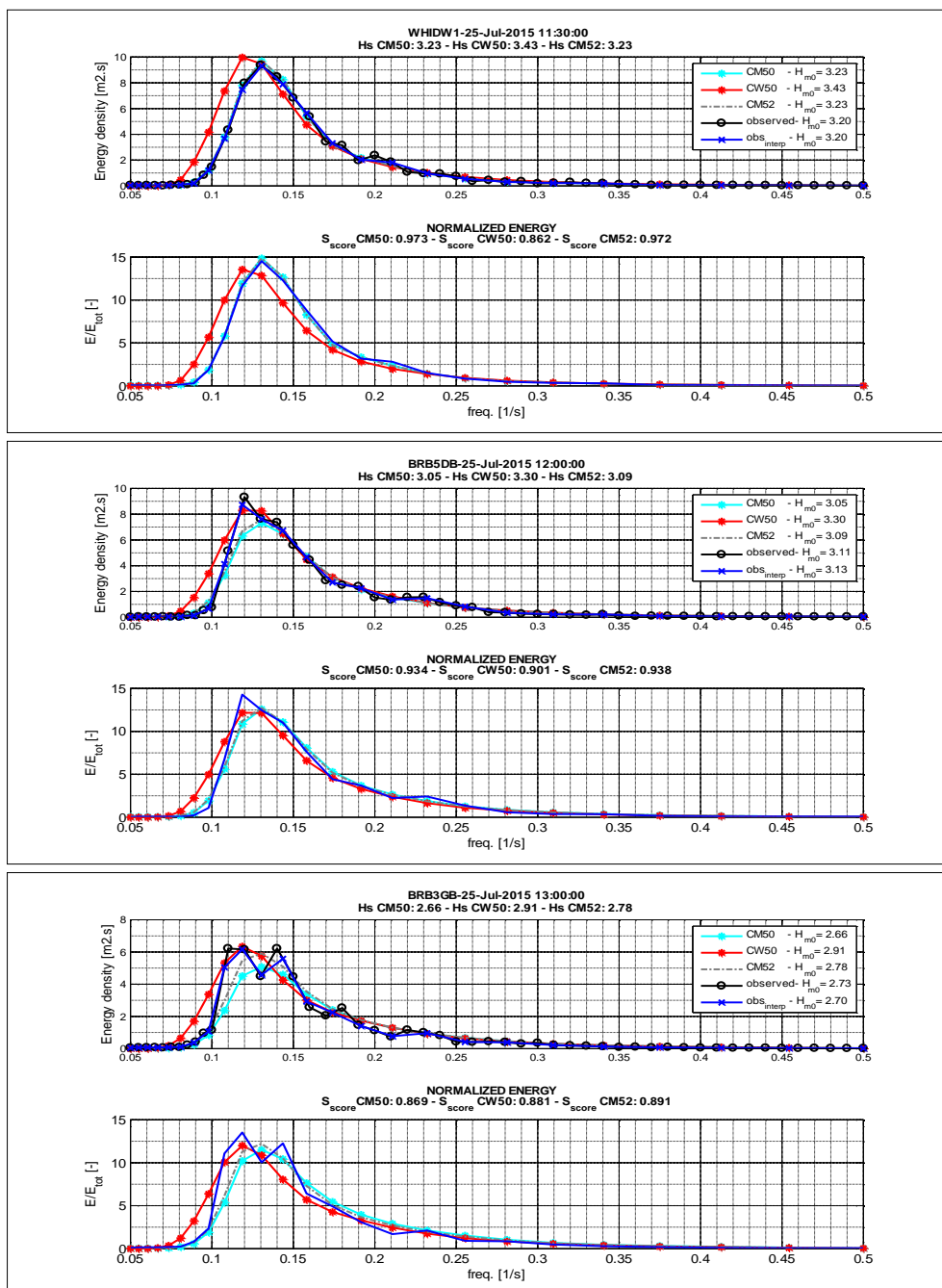


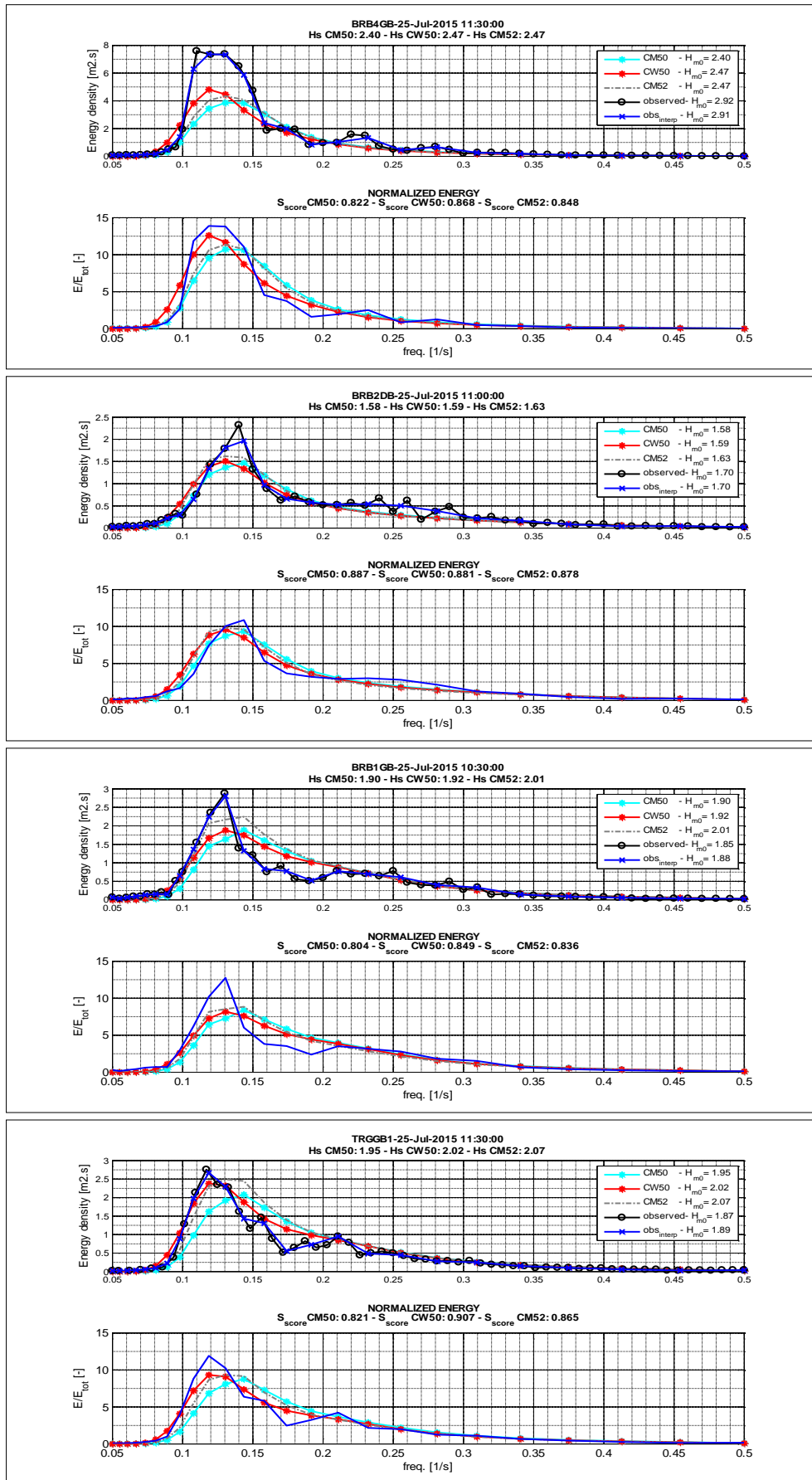
Figuur 4.7. Modelresultaat Hmo, Tm02 en S-score voor storm 25-26 juli 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie BRB1GB.



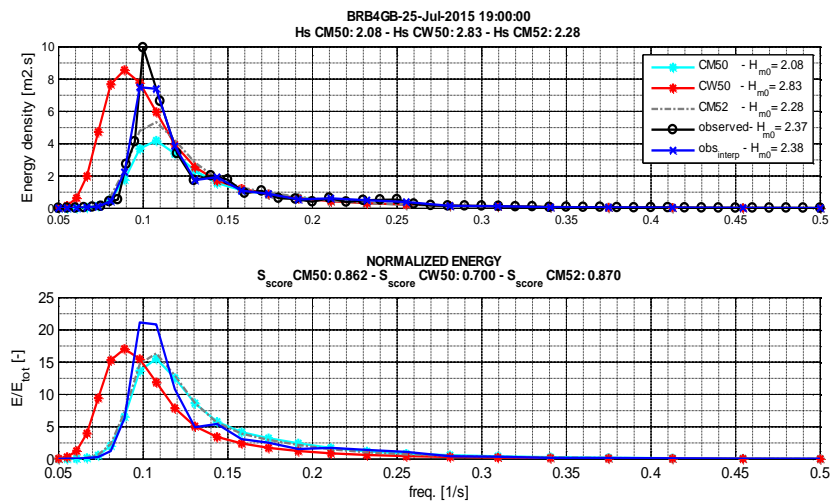
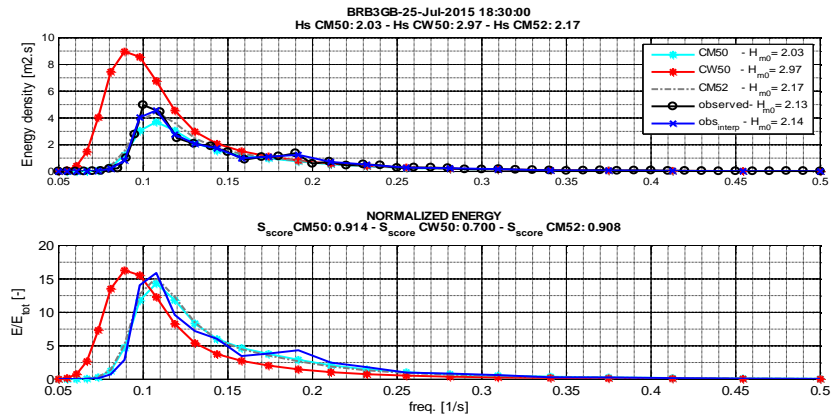
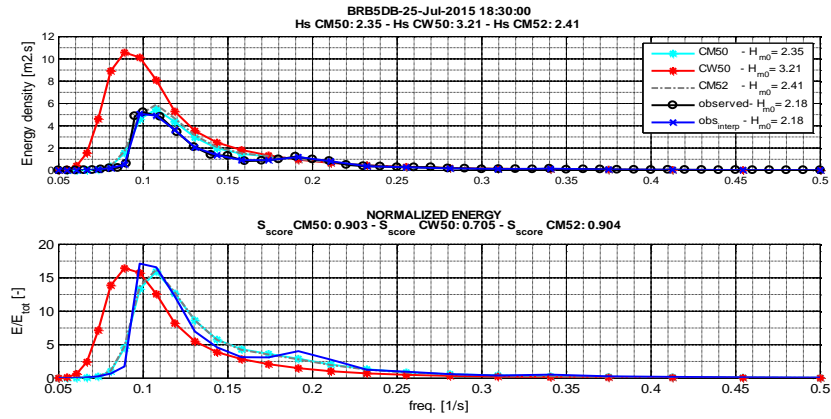
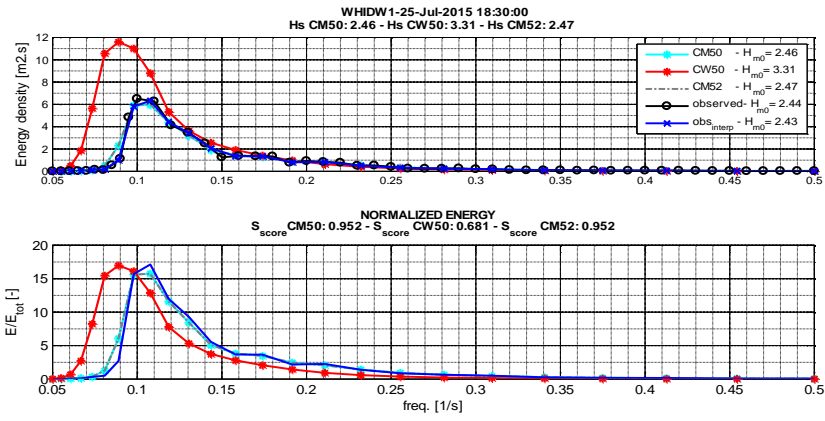
Figuur 4.8. Modelresultaat Hmo, Tm02 en S-score voor storm 25-26 juli 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie TRGGB1.

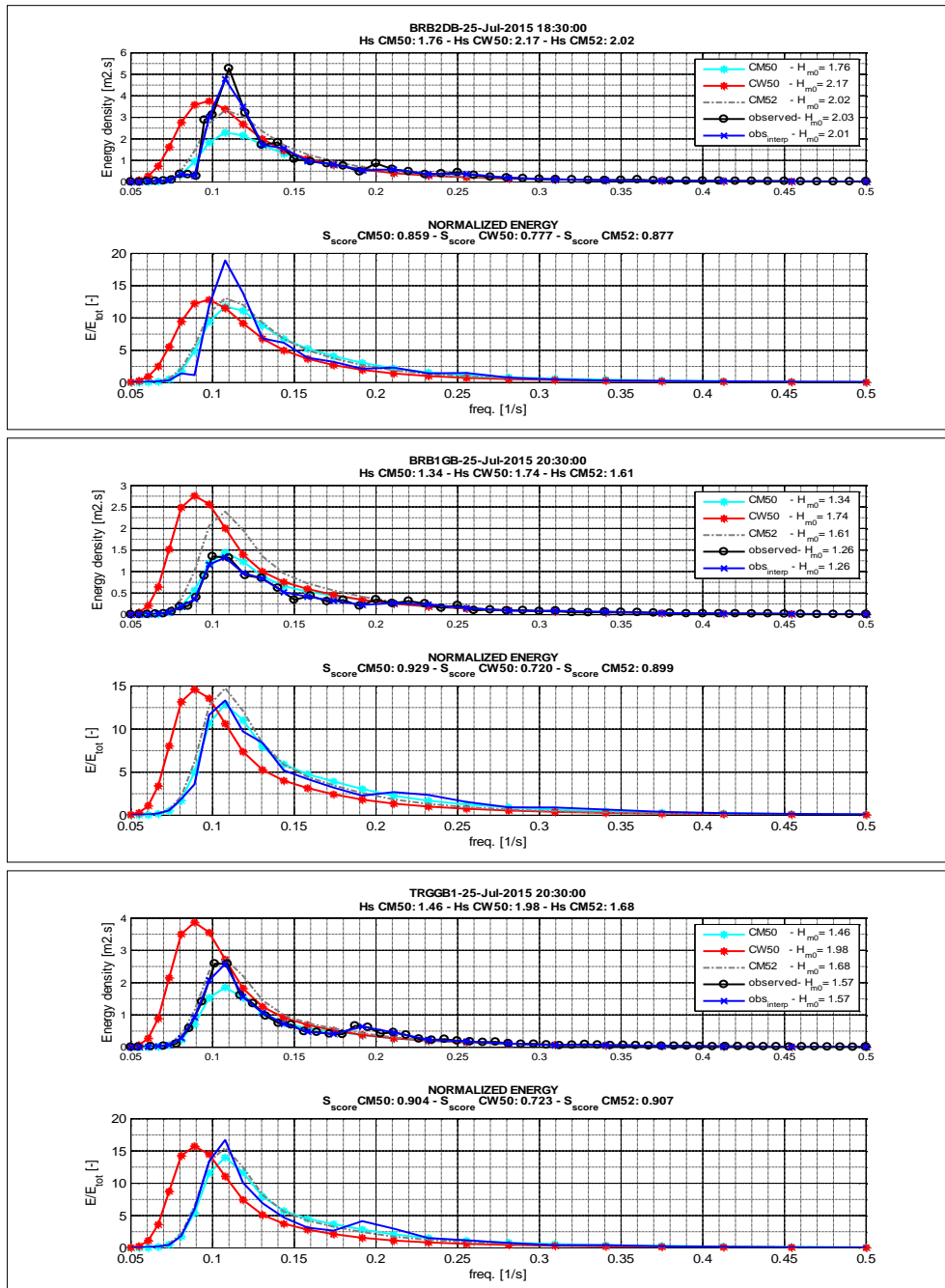
Uit de analyse voor deze storm (25-26 juli), blijkt opnieuw dat de S-score tijdsreeks het verschil tussen de gesimuleerde en geobserveerde golfenergieverdeling (zie figuren voor eerder slechte en eerder goede S-scores) goed weergeeft.



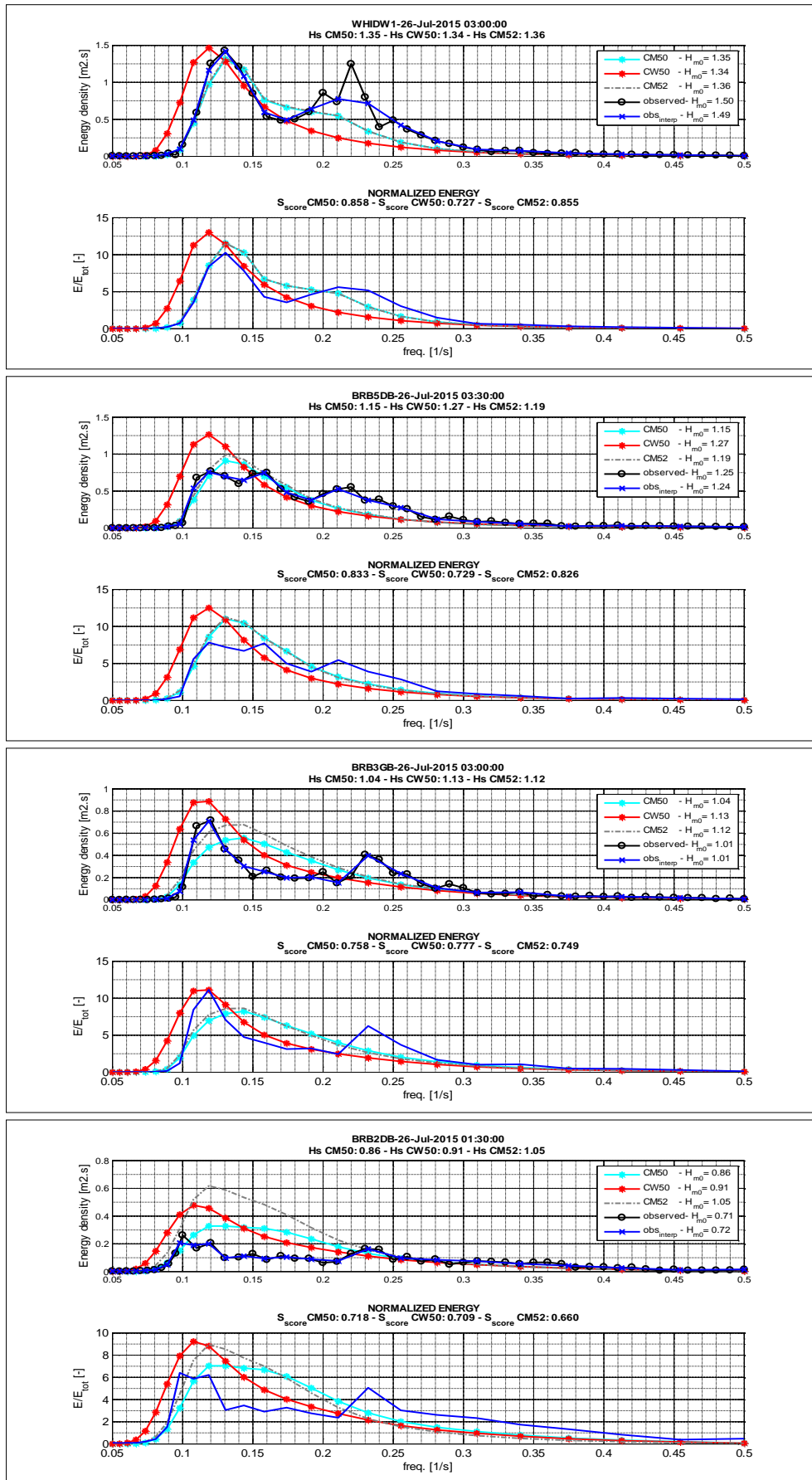


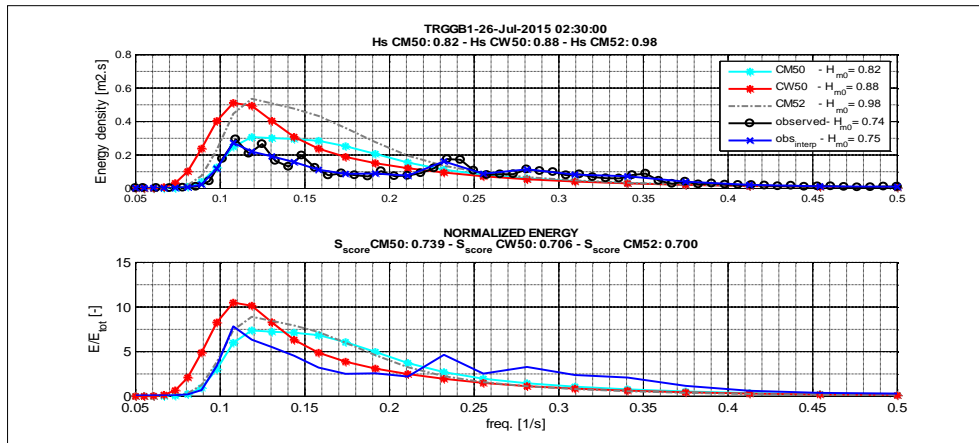
Figuur 4.9. (ook figuren op vorige pagina) Verdeling energiedensiteit voor de metingen en voor de 3 model settings voor de 7 boeilocaties op 25/07/2015 rond 11:30. De goede match in de energieverdeling over de verschillende frequenties van het golfspectrum heeft een goede Sscore tot gevolg. Bovenste figuur: niet genormaliseerd; de blauwe lijn is de gemeten golfenergie-densiteit geïnterpoleerd op het model frequentiegrid (stap b in de methodologie). Onderste figuur: genormaliseerde energie met aanduiding van de S-score voor elk van de model settings.





Figuur 4.10. (ook figuren op vorige pagina) Verdeling energiedensiteit voor de metingen en voor de 3 model settings voor de 7 boeilocaties op 25/07/2015 om 18:30. Een minder goede match in de distributie van de golfenergie geeft aanleiding tot een lage Sscore. Bovenste figuur: niet genormaliseerd; de blauwe lijn is de gemeten golfenergiedensiteit geïnterpoleerd op het model frequentiegrid (stap b in de methodologie). Onderste figuur: genormaliseerde energie met aanduiding van de S-score voor elk van de model settings.





Figuur 4.11. (ook figuren op vorige pagina) Verdeling energiedensiteit voor de metingen en voor de 3 model settings voor de 7 boeilocaties op 26/07/2015 om 02:30. Een minder goede match in de distributie van de golfenergie geeft aanleiding tot een lage Sscore. Bovenste figuur: niet genormaliseerd; de blauwe lijn is de gemeten golfenergiedensiteit geïnterpoleerd op het model frequentiegrid (stap b in de methodologie). Onderste figuur: genormaliseerde energie met aanduiding van de S-score voor elk van de model settings.

ANNEX 5. TIJDSLIJN STATISTISCHE PARAMETERS

Hm0	WHIDW1	Juni 2015	Juli 2015	Augustus 2015
RMSE	CM50	/	0.08	/
	CW50	/	0.50	/
	CM52	/	0.08	/
BIAS	CM50	/	0.02	/
	CW50	/	0.25	/
	CM52	/	0.03	/
SI	CM50	/	0.04	/
	CW50	/	0.24	/
	CM52	/	0.04	/
CO	CM50	/	1.00	/
	CW50	/	0.96	/
	CM52	/	1.00	/

Figuur 5.1. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie WHIDW1 voor de periode juni-augustus 2015 bij stormcondities.

Hm0	BRB5DB	Juni 2015	Juli 2015	Augustus 2015
RMSE	CM50	/	0.21	/
	CW50	/	0.42	/
	CM52	/	0.20	/
BIAS	CM50	/	-0.14	/
	CW50	/	0.11	/
	CM52	/	-0.10	/
SI	CM50	/	0.10	/
	CW50	/	0.20	/
	CM52	/	0.10	/
CO	CM50	/	0.98	/
	CW50	/	0.91	/
	CM52	/	0.98	/

Figuur 5.2. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB5DB voor de periode juni-augustus 2015 bij stormcondities.

Hm0	BRB3GB	Juni 2015	Juli 2015	Augustus 2015
RMSE	CM50	/	0.30	/
	CW50	/	0.52	/
	CM52	/	0.28	/
BIAS	CM50	/	-0.15	/
	CW50	/	0.10	/
	CM52	/	-0.06	/
SI	CM50	/	0.17	/
	CW50	/	0.28	/
	CM52	/	0.16	/
CO	CM50	/	0.95	/
	CW50	/	0.84	/
	CM52	/	0.94	/

Figuur 5.3. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB3GB voor de periode juni-augustus 2015 bij stormcondities.

Hm0	BRB4GB	Juni 2015	Juli 2015	Augustus 2015
RMSE	CM50	/	0.42	/
	CW50	/	0.43	/
	CM52	/	0.35	/
BIAS	CM50	/	-0.33	/
	CW50	/	-0.18	/
	CM52	/	-0.21	/
SI	CM50	/	0.21	/
	CW50	/	0.21	/
	CM52	/	0.17	/
CO	CM50	/	0.97	/
	CW50	/	0.88	/
	CM52	/	0.96	/

Figuur 5.4. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB4GB voor de periode juni-augustus 2015 bij stormcondities.

Hm0	BRB2DB	Juni 2015	Juli 2015	Augustus 2015
RMSE	CM50	/	0.32	/
	CW50	/	0.40	/
	CM52	/	0.31	/
BIAS	CM50	/	-0.14	/
	CW50	/	-0.09	/
	CM52	/	0.00	/
SI	CM50	/	0.22	/
	CW50	/	0.28	/
	CM52	/	0.21	/
CO	CM50	/	0.89	/
	CW50	/	0.79	/
	CM52	/	0.87	/

Figuur 5.5. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB2DB voor de periode juni-augustus 2015 bij stormcondities.

Hm0	BRB1GB	Juni 2015	Juli 2015	Augustus 2015
RMSE	CM50	/	0.31	/
	CW50	/	0.41	/
	CM52	/	0.35	/
BIAS	CM50	/	-0.05	/
	CW50	/	0.01	/
	CM52	/	0.12	/
SI	CM50	/	0.24	/
	CW50	/	0.32	/
	CM52	/	0.27	/
CO	CM50	/	0.88	/
	CW50	/	0.78	/
	CM52	/	0.85	/

Figuur 5.6. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB1GB voor de periode juni-augustus 2015 bij stormcondities.

Hm0	TRGGB1	Juni 2015	Juli 2015	Augustus 2015
RMSE	CM50	/	0.31	/
	CW50	/	0.41	/
	CM52	/	0.31	/
BIAS	CM50	/	-0.12	/
	CW50	/	-0.01	/
	CM52	/	0.02	/
SI	CM50	/	0.21	/
	CW50	/	0.28	/
	CM52	/	0.21	/
CO	CM50	/	0.91	/
	CW50	/	0.82	/
	CM52	/	0.90	/

Figuur 5.7. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie TRGGB1 voor de periode juni-augustus 2015 bij stormcondities.

Hm0	WHIDW1	Juni 2015	Juli 2015	Augustus 2015
RMSE	CM50	0.11	0.15	0.11
	CW50	0.23	0.28	0.20
	CM52	0.11	0.15	0.12
BIAS	CM50	-0.03	-0.04	0.02
	CW50	-0.05	-0.08	0.00
	CM52	-0.01	-0.02	0.04
SI	CM50	0.11	0.14	0.14
	CW50	0.24	0.26	0.28
	CM52	0.11	0.14	0.16
CO	CM50	0.98	0.97	0.97
	CW50	0.91	0.90	0.87
	CM52	0.98	0.97	0.96

Figuur 5.8. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie WHIDW1 voor de periode juni-augustus 2015 over de volledige periode per maand.

Hm0	BRB5DB	Juni 2015	Juli 2015	Augustus 2015
RMSE	CM50	0.19	0.21	0.16
	CW50	0.23	0.27	0.19
	CM52	0.19	0.21	0.18
BIAS	CM50	-0.06	-0.06	0.02
	CW50	-0.05	-0.10	-0.02
	CM52	-0.02	-0.02	0.05
SI	CM50	0.22	0.22	0.24
	CW50	0.26	0.28	0.28
	CM52	0.22	0.21	0.26
CO	CM50	0.92	0.93	0.89
	CW50	0.89	0.89	0.85
	CM52	0.92	0.93	0.88

Figuur 5.9. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB5DB voor de periode juni-augustus 2015 over de volledige periode per maand.

Hm0	BRB3GB	Juni 2015	Juli 2015	Augustus 2015
RMSE	CM50	0.18	0.20	0.16
	CW50	0.19	0.23	0.17
	CM52	0.18	0.20	0.17
BIAS	CM50	-0.04	-0.05	0.00
	CW50	-0.02	-0.05	0.00
	CM52	-0.01	-0.01	0.03
SI	CM50	0.24	0.25	0.29
	CW50	0.26	0.28	0.30
	CM52	0.24	0.24	0.30
CO	CM50	0.88	0.91	0.85
	CW50	0.86	0.88	0.84
	CM52	0.88	0.90	0.84

Figuur 5.10. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB3GB voor de periode juni-augustus 2015 over de volledige periode per maand.

Hm0	BRB4GB	Juni 2015	Juli 2015	Augustus 2015
RMSE	CM50	0.22	0.21	0.16
	CW50	0.24	0.24	0.17
	CM52	0.20	0.20	0.18
BIAS	CM50	-0.08	-0.05	0.03
	CW50	-0.07	-0.08	0.05
	CM52	-0.02	0.02	0.09
SI	CM50	0.27	0.25	0.28
	CW50	0.29	0.28	0.30
	CM52	0.25	0.23	0.32
CO	CM50	0.90	0.92	0.85
	CW50	0.88	0.90	0.83
	CM52	0.89	0.92	0.85

Figuur 5.11. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB4GB voor de periode juni-augustus 2015 over de volledige periode per maand.

Hm0	BRB2DB	Juni 2015	Juli 2015	Augustus 2015
RMSE	CM50	0.16	0.16	0.15
	CW50	0.17	0.18	0.15
	CM52	0.17	0.19	0.19
BIAS	CM50	-0.03	0.01	0.07
	CW50	-0.01	-0.01	0.07
	CM52	0.05	0.08	0.12
SI	CM50	0.25	0.25	0.34
	CW50	0.27	0.27	0.35
	CM52	0.27	0.29	0.42
CO	CM50	0.88	0.90	0.83
	CW50	0.87	0.88	0.82
	CM52	0.87	0.89	0.82

Figuur 5.12. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB2DB voor de periode juni-augustus 2015 over de volledige periode per maand.

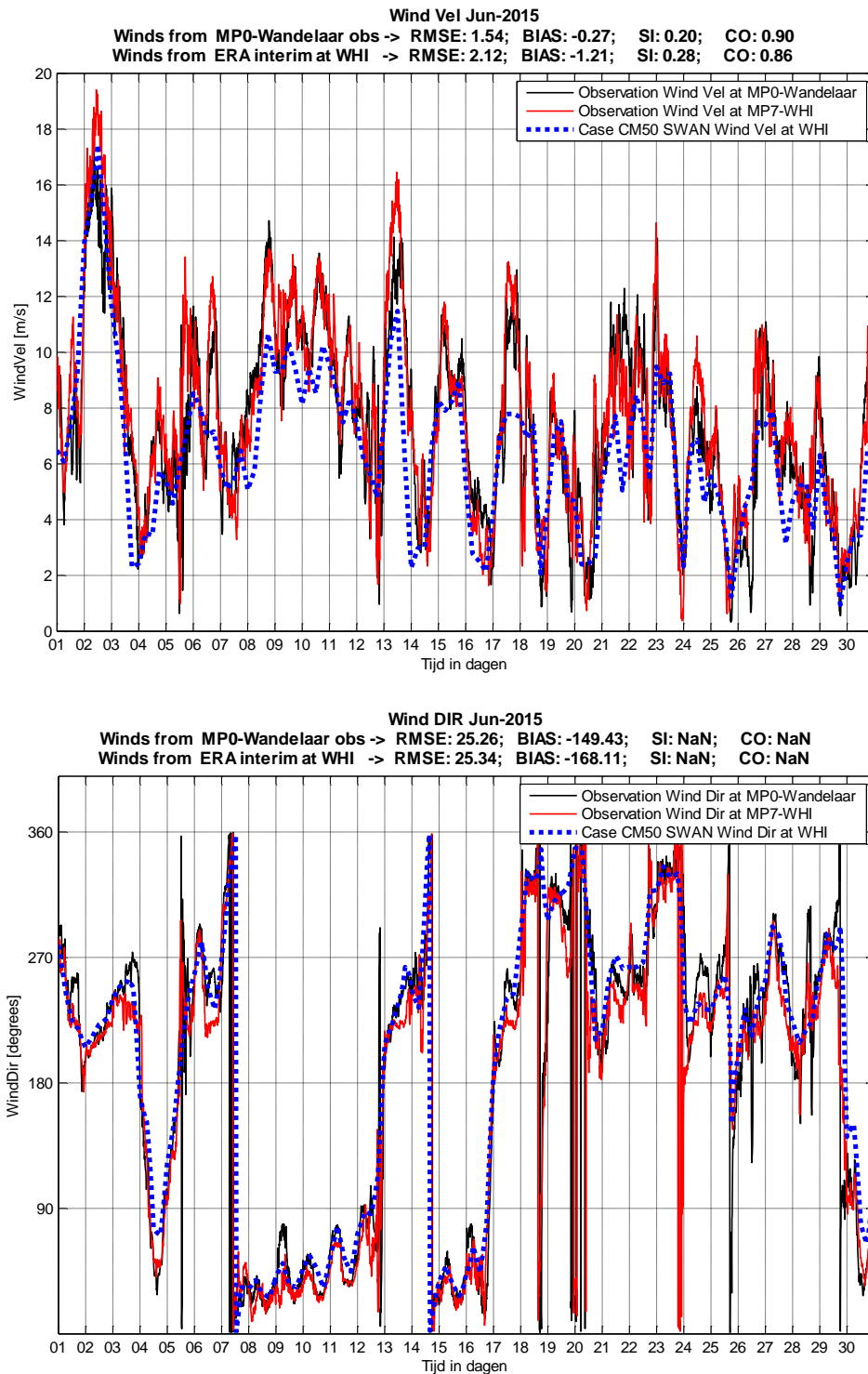
Hm0	BRB1GB	Juni 2015	Juli 2015	Augustus 2015
RMSE	CM50	0.15	0.15	0.15
	CW50	0.15	0.16	0.15
	CM52	0.17	0.20	0.19
BIAS	CM50	0.00	0.04	0.06
	CW50	0.01	0.03	0.05
	CM52	0.07	0.12	0.11
SI	CM50	0.28	0.28	0.41
	CW50	0.29	0.30	0.41
	CM52	0.32	0.37	0.51
CO	CM50	0.86	0.89	0.77
	CW50	0.85	0.88	0.78
	CM52	0.85	0.88	0.76

Figuur 5.13. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB1GB voor de periode juni-augustus 2015 over de volledige periode per maand.

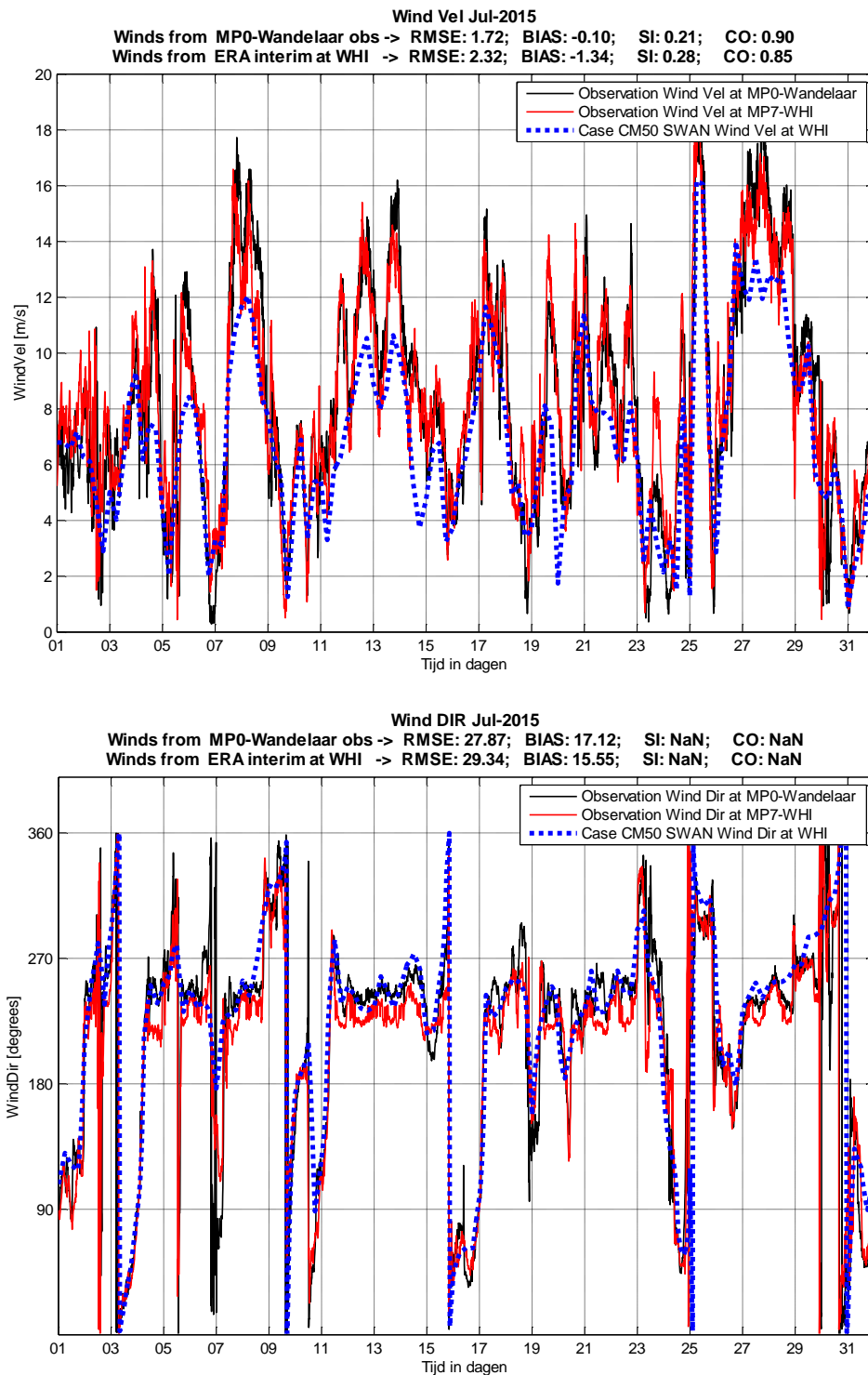
Hm0	TRGGB1	Juni 2015	Juli 2015	Augustus 2015
RMSE	CM50	0.18	0.17	0.16
	CW50	0.18	0.18	0.16
	CM52	0.17	0.18	0.18
BIAS	CM50	-0.06	-0.02	0.02
	CW50	-0.05	-0.03	0.02
	CM52	0.00	0.04	0.07
SI	CM50	0.26	0.24	0.32
	CW50	0.27	0.27	0.32
	CM52	0.26	0.26	0.36
CO	CM50	0.85	0.89	0.72
	CW50	0.84	0.87	0.74
	CM52	0.84	0.89	0.71

Figuur 5.14. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie TRGGB1 voor de periode juni-augustus 2015 over de volledige periode per maand.

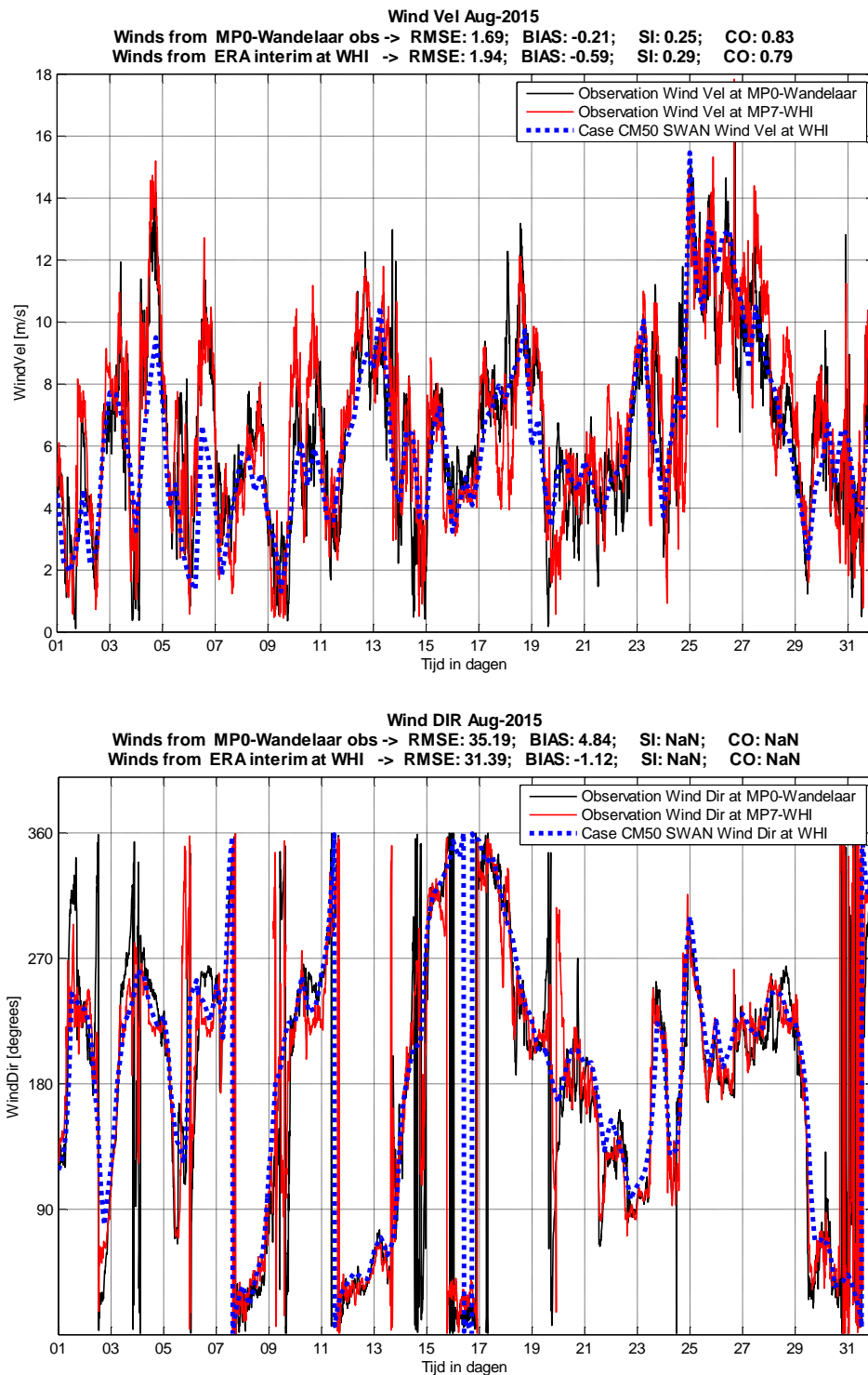
ANNEX 6. GEMETEN WIND EN MODELWIND



Figuur 6.1. Windsnelheid en richting afkomstig voor juni 2015 van 1) het SWAN model op locatie WHI (afgeleid uit de ERA interim windvelden –blauwe stippelijn); 2) waarnemingen op locatie WHI (MP7 – rode lijn) en van waarnemingen op locatie Wandelaar (MP0 – zwarte lijn).



Figuur 6.2. Windsnelheid en richting afkomstig voor juli 2015 van 1) het SWAN model op lokatie WHI (afgeleid uit de ERA interim windvelden –blauwe stippelijn); 2) waarnemingen op lokatie WHI (MP7 – rode lijn) en van waarnemingen op lokatie Wandelaar (MP0 – zwarte lijn).



Figuur 6.3. Windsnelheid en richting afkomstig voor augustus 2015 van 1) het SWAN model op locatie WHI (afgeleid uit de ERA interim windvelden –blauwe stippelijn); 2) waarnemingen op locatie WHI (MP7 – rode lijn) en van waarnemingen op locatie Wandelaar (MP0 – zwarte lijn).

Reference to this report:

Ortega Yamamoto, H., H. Komijani, J. Monbaliu, 2016. *Monitoring Broersbank – Resultaten Modelling (periode Jun 2015 – Aug 2015)*. Monitoring Broersbank_214339_R10 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 31-08-2016.